

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto

Juha Pesonen

SÄHKÖISEN POTKURIJÄRJESTELMÄN VAATIMUKSET JA VALINTA ERI LAIVATYYPEISSÄ

Diplomityö on jätetty tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten
Espoossa 30.11.1998

Työn valvoja

Professori Jorma Kyyrä

Työn ohjaaja

Diplomi-insinööri Antti Lehtelä

12-01-1999
TKK Sähkö- ja
tietoliikennetekniikan kirjasto
Otakaari 5 A
02150 ESPOO
20499

Tekijä:	Juha Pesonen	
Työn nimi:	Sähköisen potkurijärjestelmän vaatimukset ja valinta eri laivatyypeissä	Sivumäärä:
Päivämäärä:	30.11.1998	96+34=130
Osasto:	Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto	
Professuuri:	S-81 Sähkökäyttö ja tehoelektroniikka	
Työn valvoja:	Professori Jorma Kyyrä	
Työn ohjaaja:	Diplomi-insinööri Antti Lehtelä	
<p>Tämän diplomityön tarkoituksena on selostaa ja rajata suositukset oikealle sähkökäytölle potkuritehon ja laivatyyppin funktiona.</p> <p>Työn alussa selvitetään laivan sähköisen potkurijärjestelmän toimintaperiaatetta sen historiaa ja sopivuutta laivoihin. Tämän jälkeen kerrotaan laivan sähköisen potkurijärjestelmän vaatimuksista ja sen eri komponenteista. Työn loppuosassa analysoidaan numeerinen tutkimus, jonka perusteella saadaan sähköisen potkurijärjestelmän valintaperusteet potkuritehon ja laivatyyppin funktiona. Numeerisessä tutkimuksessa valintakriteereinä käytetään potkurijärjestelmän fyysistä kokoa, painoa sekä hintaa.</p> <p>Tutkimuksen ydin on suuntaaja, jonka ympärille järjestelmä kootaan. Tutkittavia suuntaajia ovat ACS600, SAMI MegaStar, PWM-tahtikoneoptio sekä kaksi eri syklokonvertterityyppiä. Tutkimus tehdään kemikaalitankkerille, konttilaivalle ja lautalle.</p> <p>Käytön valinnan kriteerejä ovat asiakkaan ja luokituslaitosten vaatimukset. Vaatimuksia ovat lisäksi esimerkiksi särötasovaatimukset, joita varten työssä tutkitaan sekä 6- että 12-pulssisia järjestelmiä. Pulssilukua voidaan muuttaa joko vaiheensiirtokuristimien tai muuntajien avulla. Muita selostettuja säröratkaisuja ovat moottorigeneraattorien, suodattimien ja duplexreaktorien käyttö sekä generaattorien alkureaktanssin suuruuden optimointi.</p> <p>Kunkin tutkittavan laivan suositellut käytöt esitetään potkuritehon funktiona. Diplomityön tavoite siis saavutetaan. Numeerisissa tuloksissa pitää huomioida monet yksinkertaistukset, jotka tutkimuksen aikana tehtiin. Toisaalta tutkimuksessa on pohdittu myös laskettujen suureiden ulkopuolisia tekijöitä. Tuloksia kannattaa siis hyödyntää tulevilla tarkentavilla tutkimuksilla.</p>		
Avainsanat:	potkurijärjestelmä, valinta, vaatimukset, sähkökäyttö, laivatyyppi, suuntaaja, kemikaalitankkeri, konttilaiva, lautta	

Author:	Juha Pesonen	
Name of the thesis:	The requirements and selection of electric propulsion systems for different types of ships	
Date:	30.11.1998	Number of pages: 96+34=130

Faculty:	Department of Electrical and Communications Engineering
Professorship:	S-81 Electric Drives and Power Electronics

Supervisor:	Professor Jorma Kyyrä
Instructor:	MSc Antti Lehtelä

The purpose of this Master's thesis is to outline and detail instructions to select an optimal electric drive system for ships as a function of the propulsion power and ship type.

The beginning chapters start by explaining the principle of electrical propulsion in ships. The feasibility and history is also discussed. Following this the requirements and the components of the ship's electric propulsion system are explained. In the final part the numerical research is analysed. The analysis includes an explanation of how to select the correct type of system. The selection instructions are presented as a function of propulsion power and ship type. The selection is done by evaluating the electric system's volume, weight and price.

At the heart of the evaluation process is a converter, and the system is built around it. Converter options are ACS600, SAMI MegaStar, PWM-synchro-drive and two different kinds of cycloconverters. The system is dimensioned for chemical tankers, container ships and ferries.

The criteria of selecting a drive system is based on the customer and the selected classification bureau. One major criteria, for example, are levels of total harmonic distortion. Because of this, 6- and 12-pulse systems are part of the evaluation. These systems need a transformer or a phase shift reactor. Other methods for limiting distortion levels are motor generators, filters, duplex reactors and the optimising of the generator's subtransient reactance.

The recommended systems for each ship type are given as a function of propulsion power. Thus the purpose is achieved. The simplifications of the numerical research must be noted. On the other hand also criteria outside the results are discussed. The results should be interpreted as a base for further future research.

Keywords:	propulsion, selecting, requirements, electric drives, ship type, converter, chemical tanker, container ship, ferry
------------------	--

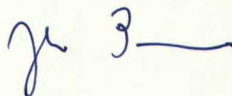
Alkulause

Tämä diplomityö on tehty ABB Industry Oy:n Marine divisioonassa. Työn valvojana on toiminut professori Jorma Kyyrä, jolle kiitokset hänen työtäni osoittamasta mielenkiinnosta. Diplomi-insinööri Antti Lehtelää haluan kiittää sekä mielenkiintoisesta aiheesta että toimimisesta työni ohjaajana. Kiitos myös Teknillisen korkeakoulun tukisäätiölle saamastani taloudellisesta tuesta.

Haluan kiittää Heikki Soljamaa mahdollisuudesta työskennellä mieleisessäni työympäristössä työni ajan. Lisäksi kiitoksen ansaitsee koko Marine divisioonan henkilökunta sekä haastattelemanani henkilöt, jotka suhtautuivat ystävällisesti ja asiantuntevasti diplomityöhöni.

Erityiskiitoksen haluan esittää vanhemmilleni Erkille ja Irmalle, sisarelleni Marjutille sekä parhaille ystävilleni, jotka ovat tukeneet minua koko diplomityöni tekemisen ajan.

Helsingissä 30.11.1998



Juha Pesonen

Sisällysluettelo

ALKULAUSE.....	4
SISÄLLYSLUETTELO	5
TERMEJÄ JA LYHENTEITÄ.....	8
MUUTTUJAT	10
1 JOHDANTO	12
2 LAIVAN SÄHKÖINEN POTKURIJÄRJESTELMÄ.....	14
2.1 HISTORIAA	14
2.2 POTKURIJÄRJESTELMÄN VAATIMUKSET.....	14
2.3 SÄHKÖISEN KONSEPTIN HYÖDYT JA HAITAT	14
2.4 SOVELLUSALUEET	15
2.5 SÄHKÖISEN POTKURIJÄRJESTELMÄN KOMPONENTIT.....	16
3 POTKURIJÄRJESTELMÄN VALINTAPERUSTEET	19
3.1 TEHOALUE.....	19
3.2 POTKURI.....	19
3.2.1 Potkurien kierrosnopeus ja lukumäärä.....	20
3.2.2 Kiinteäsiipinen ja säätösiipinen potkuri.....	22
3.3 HYÖTYSUHDE	22
3.4 SÄRÖT JA NIIDEN SUODATUS	23
3.4.1 Särövaatimukset.....	23
3.4.2 Pulssiluvut ja muuntajien kytkennät	23
3.4.3 Generaattorien alkureaktanssin vaikutus särötasoon	26
3.4.4 Duplexreaktori	28
3.4.5 Suodattimet	30
3.4.6 Moottorigeneraattori	32
3.4.7 Vaiheensiirtokuristimet.....	32
3.5 REDUNDANSSI.....	33
3.6 TILANKÄYTTÖ	34
3.6.1 Tilojen jäähdytys.....	34
3.6.2 Kuivamuuntaja	34
3.6.3 Nestetäytteinen muuntaja.....	35
3.6.4 Kuristimet.....	35
3.6.5 Päätaulu sekä suuntaajat.....	36

3.6.6	<i>Generaattorit ja propulsiomootorit</i>	36
3.6.7	<i>Yliaaltojen suodatuksen vaatimat tilat</i>	38
3.6.8	<i>Osastointi</i>	43
3.6.9	<i>Kaapelointi ja asennus</i>	43
3.7	<i>JÄISSÄ KULKU</i>	43
3.8	<i>MIEHISTÖ</i>	44
4	ERI JÄRJESTELMÄT SEKÄ NIIDEN HYÖDYT JA HAITAT	45
4.1	<i>SÄHKÖISEN POTKURIJÄRJESTELMÄN KOMPONENTIT JA NIIDEN VALINTA</i>	45
4.1.1	<i>Generaattori</i>	45
4.1.2	<i>Päätaulu</i>	45
4.1.3	<i>Muuntajat</i>	47
4.1.4	<i>Välijännitesyklokonvertterin kommutointikuristimet</i>	50
4.1.5	<i>Suuntaaja</i>	50
4.1.6	<i>Nollakuristimet</i>	51
4.1.7	<i>Vaihderatkaisut</i>	51
4.2	<i>POTKURIMOOTTORIT</i>	52
4.2.1	<i>Oikosulkukone ja tahtikone</i>	52
4.2.2	<i>Moottorien sarjaankytkentä</i>	53
4.3	<i>AZIPOD</i>	54
4.3.1	<i>Yleistä</i>	54
4.3.2	<i>Azipodin rakenne</i>	55
4.3.3	<i>Azipod ja perinteinen akselijärjestelmä</i>	56
4.4	<i>SUUNTAAJATYYPIT</i>	57
4.4.1	<i>ACS600</i>	57
4.4.2	<i>SAMI MegaStar</i>	58
4.4.3	<i>PWM-tahtikoneoptio</i>	60
4.4.4	<i>Syklokonvertteri ja sen valinta</i>	61
4.4.5	<i>Muuntajakytkentäinen syklokonvertteri</i>	61
4.4.6	<i>Välijännitesyklokonvertteriratkaisu</i>	64
5	POTKURIJÄRJESTELMÄN VALINTA	65
5.1	<i>MITOITUSKRITEEREJÄ</i>	65
5.2	<i>KOMPONENTTIEN TILAN, PAINON JA HINNAN ARVIOINTI</i>	65
5.2.1	<i>Suuntaaja</i>	65
5.2.2	<i>Generaattori</i>	66
5.2.3	<i>Moottori</i>	67
5.2.4	<i>Päätaulu</i>	68
5.2.5	<i>Muuntaja</i>	70

5.2.6	Vaihteet	73
5.3	KÄYTÖN KOKOAMINEN	75
5.3.1	6-pulssinen ACS600- ja SAMI MegaStar-käyttö	75
5.3.2	12-pulssinen ACS600- ja SAMI MegaStar-käyttö	76
5.3.3	6-pulssiset PWM-tahtikoneoptio-käytöt.....	76
5.3.4	12-pulssiset PWM-tahtikoneoptio-käytöt.....	77
5.3.5	Muuntajakytkentäiset syklokonvertterikäytöt	78
5.3.6	Välijännitesyklokonvertterikäytöt.....	79
5.3.7	Vertailun numeerinen kokoaminen	79
5.4	ARVIOINTI.....	84
6	SUOSITUKSET ERI LAIVATYYPPEIHIN.....	85
6.1	KEMIKAALITANKKERI	85
6.1.1	Yleistä tankkereista ja kemikaalitankkerista	85
6.1.2	Kemikaalitankkerin käytön kokoaminen	86
6.2	KONTTILAIVA.....	86
6.2.1	Yleistä konttilaivoista.....	86
6.2.2	Konttilaivan käytön kokoaminen	87
6.3	LAUTTA	87
6.3.1	Yleistä lautoista.....	87
6.3.2	Lautan käytön kokoaminen	88
6.4	YHTEENVETO KÄYTTÖJEN KÄYRISTÄ	89
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	90
8	YHTEENVETO	92
	LÄHDELUETTELO	93
	LIITTEET:	
	LIITE 1 GENERAATTORIT	L1
	LIITE 2 PÄÄTAULUT.....	L2
	LIITE 3 MUUNTAJAT	L3
	LIITE 4 KURISTIMET	L5
	LIITE 5 VAIHTEET	L6
	LIITE 6 SUUNTAAJAT.....	L7
	LIITE 7 KEMIKAALITANKKERIKÄYTÖT.....	L11
	LIITE 8 KONTTILAIVAKÄYTÖT	L17
	LIITE 9 LAUTTAKÄYTÖT.....	L23
	LIITE 10 KÄYTTÖJEN KUVAAJAT	L29
	LIITE 11 TEHOALUEET.....	L32

Termejä ja lyhenteitä

redundanttisuus	kyky toimia myös häiriön jälkeen
päätaulu	pääsähkönjakelukeskus
haalaus	koneen roottorin ulos- tai poisveto
potkurin kavitaatio	Jos paine potkurin vieressä alenee riittävästi, syntyy sen toiselle puolelle niin suuri alipaine, että vesi potkurin takana höyrystyy. Höyryn tiivistyessä jälleen vedeksi, aiheuttaa se paineiskuja potkuriin, josta seuraa värähtelyä ja eroosiota potkuriin.
LT-vedenkierto	Laivan 36°C lämmin vedenkierto, joka on tarkoitettu dieselmoottoreita varten, mutta jota käytetään myös muussa jäähdytyksessä.
AFWF-lämmönvaihdin	Air Forced Water Forced-lämmönvaihdin. LT-vedenkierto johdetaan lämmönvaihtimeen, jossa tuulettimin pakotettu ilmankierto jäähdyttää kuivamuuntajaa.
KFWF-lämmönvaihdin	Nestetäytteen muuntajan lämmönvaihdin, johon LT-vedenkierto johdetaan.
Black Out	Tila jossa laivan generaattorisyyttö on vikatilanteen vuoksi pois toiminnasta ja laivan sähköjärjestelmästä puuttuu jännite.
DP-järjestelmä	Dynamic Positioning-järjestelmä, jonka avulla laiva pidetään tarkasti oikealla paikalla mittaamalla laivan sijainti tukiasemien ja satelliittien avulla.
ACS600	Jännitevälipiirisuuntaaja, joka toimii DTC:n avulla (DTC:n määritelmä alla)
DTC	Direct Torque Control eli suoramomenttisäätö. Käytetään ACS600-suuntaajassa sekä PWM-tahtikoneoptiossa invertteriyksikön ohjauksessa.
SAMI MegaStar	PWM:n avulla toimiva jännitevälipiirisuuntaaja (PWM:n määritelmä alla)
PWM	Pulse Width Modulation. Käytetään PWM-tahtikoneoptiosuuntaajissa tasasuuntaussillan ohjauksessa sekä SAMI MegaStarin moottorin ohjauksessa.

PWM-tahtikoneoptio	Jännitevälipiirisuuntaaja, jolla voidaan ohjata sekä oikosulku- että tahtikonetta. Nimeä käytetään vain tässä työssä. Kaupallista nimeä ei ole vielä määritelty.
Muuntajakytkentäinen käytetään syklokonvertteri	Syklokonvertteri, jonka syötössä muuntajia
NTY-syklokonvertteri	Uuden sukupolven tyristorikäytöllä toimiva syklokonvertteri
Välijännitesyklokonvertteri	Syklokonvertteri, joka toimii ilman muuntajia syöttöjännitteen ollessa 6600V
THD	$THD = \frac{\sqrt{\sum_n U_n^2}}{U_1}, n=2, 3, 4, \dots$ <p>Total Harmonic Distortion. Yhtälö on jännitteen yliaaltoisuudelle. Virran yliaaltoisuus lasketaan vastaavalla tavalla.</p>
THD%	<p>Prosentuaalinen Total Harmonic Distortion. Harmooninen yliaaltoisuus</p> $\text{Jännitteelle: } THD\% = \frac{\sqrt{\sum_n U_n^2}}{U_1} \cdot 100\%,$ $n=2 \dots \infty$
AFU	Active Front end Unit. PWM-tahtikoneoption syöttösilta

MUUTTUJAT

X_d''	Tahtikoneen pitkittäinen alkureaktanssi
x_d''	Tahtikoneen suhteellinen pitkittäinen alkureaktanssi
X_q''	Tahtikoneen poikittainen alkureaktanssi
X''	Tahtikoneen pitkittäisen ja poikittaisen alkureaktanssin keskiarvo $X'' = \frac{X_d'' + X_q''}{2}$
x''	Tahtikoneen suhteellinen pitkittäisen ja poikittaisen alkureaktanssin keskiarvo
P_M	Potkurimoottorin pätöteho
U_M	Potkurimoottorin jännite
I_M	Potkurimoottorin virta
I_S	Suuntaajan syöttövirta
I_k	Terminen oikosulkuvirta
S_G	Generaattorin näennäisteho
η_G	Generaattorin hyötysuhde
$U_{p\text{-taulu}}$	Päätaulun jännite
$I_{p\text{-taulu}}$	Päätaulun virta
$\cos\varphi=PF$	Perusaallon tehokerroin (Power Factor)
η_s	Staattorin hyötysuhde \approx moottorin hyötysuhde
S_m	Muuntajan näennäisteho
μ	Muuntajan muuntosuhde
V	Komponentin viemä tilavuus
m	Massa
H	Hintaindeksi eli suhteellinen hinta
n_M	Moottorin kierrosluku minuutissa (RPM)

ω	kulmataajuus ($= 2\pi f$)
f	Taajuus (Hz)
$\sum P_{\text{potkuri}}$	Potkuriteho (moottorien yhteenlaskettu teho)
k_M	Potkurimoottorien lukumäärä
N_1	Muuntajan ensiön kierrosluku
N_2	Muuntajan toision kierrosluku
N_2'	Hakatahtikytetyn muuntajan ensimmäisen toision kierrosluku
N_2''	Hakatahtikytetyn muuntajan toisen toision kierrosluku
S_S	Suuntaajan näennäisteho
ΔV	Jännitteenalenema
I_{pM}	Potkurimoottorin aiheuttama virta päätaulussa
T	Vääntömomentti

1 Johdanto

Kun verrataan perinteistä suoraa dieselmoottorilla ajettavaa ja sähköistä potkurijärjestelmää toisiinsa, tuntuu aluksi oudolta, että sähköistä järjestelmää on yleensä edes harkittu. Sähköinen potkurijärjestelmä on kalliimpi ja sen hyötysuhde optiminopeudella on huonompi. Se on monimutkaisempi ja siinä on enemmän komponentteja. Kaikesta tästä seuraa, että myös sen huolto on vaativampaa ja se tarvitsee näin enemmän koulutettua henkilökuntaa aluksen toiminnan varmistamiseen.

Tarkasteltaessa sähköisen potkurijärjestelmän hyötyjä huomataan kuitenkin, että suuressa osassa alustyyppejä tämä ratkaisutapa tuo merkittäviä etuja verrattuna perinteiseen ratkaisuun. Lyhyet operointimatkat ja suuri ohjailtavuustarve ovat jo tunnusmerkkejä sille, että sähköinen potkurijärjestelmä on varteenotettava vaihtoehto. Muita perusteluja sähköiselle potkurijärjestelmälle ovat esimerkiksi laitteiston sijoittelun vapaus sekä operoimisen helppous. Lisäksi sähköisen potkurijärjestelmän osissa on vähän kuluvia osia, joten huoltovälin pituus kasvaa.

Sähköisen potkurijärjestelmän markkinointi on ollut alkuaikoina hankalaa. Nykyään kuitenkin sen edut jo yleisesti tunnustetaan. Esimerkiksi jäänmurtaajissa tämä vaihtoehto on ollut käytössä jo vuosikymmeniä ja jokaisessa nykyaikaisessa loistoristeilijässä sähköinen potkurijärjestelmä on jo lähes itsestäänselvyys.

Nykyään suurin ongelma on lähinnä oikeanlaisen sähkökäytön valinta. Mahdollisuuksia on monia. Pyrkimyksenä on saavuttaa mahdollisimman edullinen, tehokas, vähän tilaa vievä, kevyt, tasaisesti toimiva ja muuten asiakkaan vaatimukset täyttävä käyttö. Sen tulee toimia myös huollettaessa sekä käyttöhäiriöiden aikana.

Suunnittelukriteerejä ovat asiakkaan vaatimukset sekä kansalliset ja kansainväliset lait ja säädökset. Lisäksi eri laivatyypit asettavat kukin omat vaatimuksensa käytölle. Esimerkiksi jäänmurtajakäytöissä laivan sähköverkon särövaatimuksella ei ole yhtä suurta merkitystä kuin matkustajaristeilijässä. Toisaalta matkustajaristeilijässä potkurijärjestelmään kuulumaton osa sähkötehon kulutuksessa on merkittävästi suurempi kuin jäänmurtaajassa. Myös tehon kulutus on oleellinen seikka valittaessa oikeaa sähkökäyttöä.

Tässä diplomityössä tutkitaan oikean sähkökäytön valitsemista tiettyihin laivatyyppeihin, joissa sähköinen potkurijärjestelmä on vielä uusi. Pyrkimyksenä on saada näille laivatyypeille teknillistalodellinen vertailukriteeristö myynnin tukemiseksi. Diplomityö pohjustaa pyrkimystä tuotteiden standardoimiseksi. Työssä tarkastellaan myös vielä toteutumattomia käyttöratkaisuja ja pyritään luomaan yleiskuva sähköisen potkurijärjestelmän vaatimuksille ja valinnalle eri laivatyypeissä.

Työn alussa kappaleessa kaksi esitellään laivan sähköinen potkurijärjestelmä yleisesti, verrataan sähköistä ja perinteistä suoraa dieselkäyttöä toisiinsa ja selostetaan tutkimuksen taustaa lyhyesti. Kappaleessa kolme tutkitaan numeerisesti vaikeasti arvioitavia sähköisen potkurijärjestelmän valintakriteerejä. Näitä ovat esimerkiksi jänniteyliaallot, käyttöolosuhteet, komponenttien oheistilavaatimukset

sekä ei-sähköiset kriteerit ja komponentit. Kappaleessa neljä tarkastellaan sähköisen potkurijärjestelmän osia sekä verrataan eri sähkökäyttöjärjestelmiä toisiinsa. Kappaleessa viisi selostetaan työn tutkimusosa, jonka perusteella kappaleessa kuusi on käsitelty kolmen eri laivatyyppin suositeltavia käyttöratkaisuja. Kappaleessa seitsemän ja kahdeksan esitetään johtopäätökset ja yhteenveto.

2 Laivan sähköinen potkurijärjestelmä

2.1 Historiaa

Ensimmäinen sähkömoottori asennettiin sukellusveneeseen vuonna 1860. Energia moottoriin saatiin tällöin akusta. Tästä lähtien sähköinen järjestelmä on kehittynyt hiljalleen. Vuonna 1895 höyrykonejärjestelmästä saatiin valaistukseen 65V tasajännite. 1950-luvulla järjestelmä oli jo kehittynyt siten, että laivoissa oli erillinen tasajännitejärjestelmä, joka pyöritti potkuria ja toinen tasasähköjärjestelmä, josta saatiin 220V tasajännite laivan muuhun verkkoon. Seuraava askel oli vaihtojännite, joka 1960-luvulla saatiin kaikkiin muihin osiin lukuunottamatta potkurijärjestelmää. Tekniikka oli jo 1970-luvulla kehittynyt sille asteelle, että potkurijärjestelmänkin generaattori oli vaihtojännitegeneraattori. Jännite tasasuunnattiin ja propulsiossa käytettiin vielä tasasähkökonetta. Seuraava looginen askel 1970- ja 1980-luvun vaihteessa oli liittää hotellijärjestelmä samaan sähköjärjestelmään. Puolijohdetekniikan kehittyttyä saatiin 1980-luvulla vihdoin käyttöön vaihtojännitemoottori. /Leikas, 1998/

Sekä vaihtojännitekäytön että puolijohdetekniikan kehittyminen on ollut ratkaisevaa sähköisen potkurijärjestelmän käytölle. Tehoa ja jännitettä on jatkuvasti pystytty nostamaan ja häviöt ovat tasasähkökäyttöihin verrattuna pienentyneet oleellisesti.

2.2 Potkurijärjestelmän vaatimukset

Laivan potkurijärjestelmän tulisi toimia kaikissa olosuhteissa luotettavasti, tasaisesti, äänettömästi, hyvällä hyötysuhteella ja ilman värähtelyjä.

Laivan tulisi kyetä kulkemaan myös hitaalla nopeudella. Vaihtojännitesovelluksissa nopeuden säätö on ennen ollut hankalaa. Nykyään taajuusmuuttajat ovat kehittyneet jo niin, että ohjailtavuus sekä nopeuden muutoksen toteutus on saatu huomattavasti helpommaksi.

Potkurijärjestelmä pitää valita ja suunnitella siten, että se sopii mahdollisimman hyvin alukseen. Sen tulee olla kohtuuhintainen sekä käyttö- että alkukustannuksiltaan. Sen tulee myös olla mahdollisimman pienikokoinen, jotta laivan muille osille jäisi mahdollisimman paljon tilaa. Lisäksi potkurijärjestelmän on oltava mahdollisimman kevyt. Painon laskun huonona puolena voi olla laivan painopisteen epäedullinen siirtyminen. Kevyt laitteisto voidaan kuitenkin sijoitella vapaammin ja näin ollen myös järkevämmiin. /Räisänen, 1997/

2.3 Sähköisen konseptin hyödyt ja haitat

Yksittäisten komponenttien koot ovat sähköisessä konseptista pienempiä kuin perinteisessä suorassa dieselikäytössä. Komponentit voidaan sijoittaa helpommin sopiviin paikkoihin kuin perinteisessä järjestelmässä. Tämä säästää tilaa laivan

kaupalliselle käytölle ja helpottaa suunnittelua. Laitteisto voidaan sijoittaa helpommin huollettavaksi ja esimerkiksi lastaus- ja purkuaukkoja voidaan sijoitella vapaammin.

Huollon tarve on pienempi sähköisessä potkurijärjestelmässä kuin perinteisessä, sillä muuntajissa, suuntaajissa ja potkurimoottorissa ei juuri ole mekaanisesti kuluvia osia. Toisaalta huonona puolena on usein oheiskomponenttien kokonaismassan ja tilantarpeen kasvu.

Polttomoottorit toimivat koko sähköjärjestelmän primäärisinä voimalähteinä. Polttomoottoriksi käyvät useat eri vaihtoehdot eri kokoisista dieselmoottoreista kaasuturbiineihin. Sähköisessä potkurijärjestelmässä on yleensä useita polttomoottoreita, joita voidaan käyttää tarpeen mukaan. Niiden käyntinopeus on vakio liiketilasta riippumatta, mikä parantaa moottorien hyötysuhdetta ja pidentää niiden käyttöikää.

Sähköinen järjestelmä on yleensä jaettu moneen eri osaan. Pääpotkurikäyttö on erillinen järjestelmä, jonka liiketila ei vaikuta muuhun sähköjärjestelmään. Tämä lisää luotettavuutta ja redundanssia. Jonkin järjestelmän osan huolto ei pysäytä koko laivaa. Myös säröt ja häiriöäännet saadaan sähköisessä potkurijärjestelmässä pieniksi. Toisaalta hyötysuhde on optimiteholla heikompi kuin suoralla dieselkäytöllä.

Pääomakustannukset ovat sähköisessä potkurijärjestelmässä suuremmat kuin perinteisessä järjestelmässä, mutta toisaalta aluksen sähkön tuotanto on keskitetty, jonka ansiosta tehoreservejä ei tarvita niin paljoa. Näin myös optimaalinen kokonaistehontarve pienenee, joka alentaa vuorostaan alkukustannuksia.

On myös huomioitava, että suunnittelu pitää toteuttaa alusta asti juuri sähköistä konseptia varten. Mikäli sähköinen järjestelmä asennetaan suoraan ilman huolellista suunnittelua perinteisen tilalle voivat kustannukset nousta entisestään ja konseptista saatava hyöty vastaavasti pienentyä. /Pentti Häkkinen, 1993//Simon, 1996/

2.4 Sovellusalueet

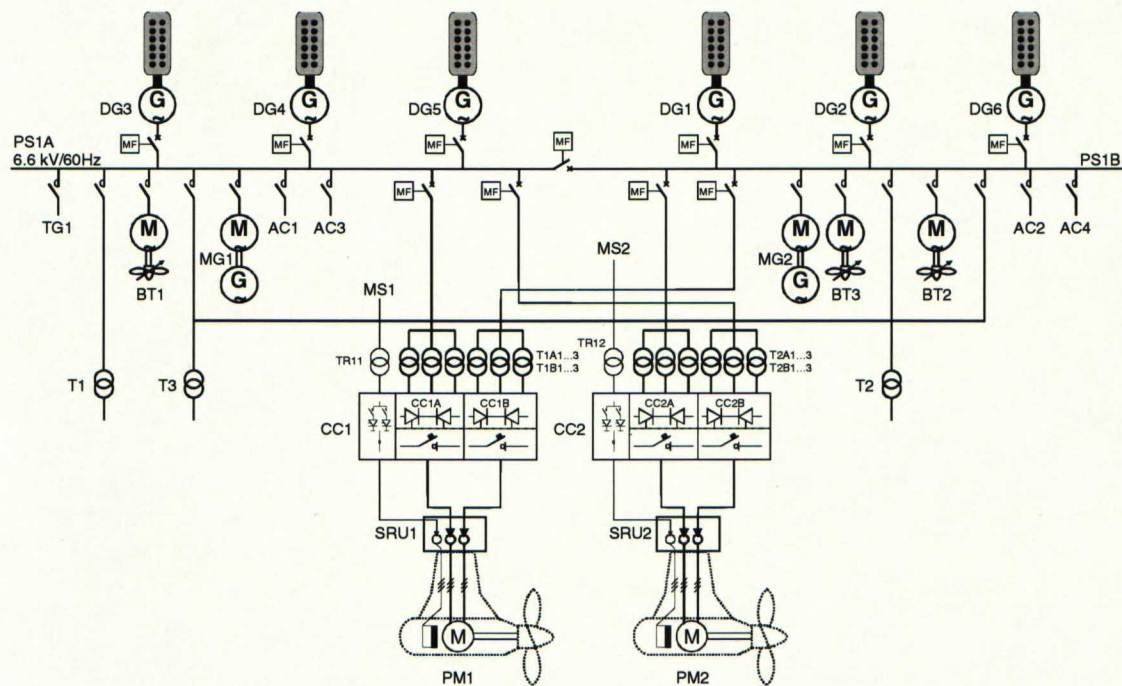
Laivoilta vaaditaan jatkuvasti parempia ominaisuuksia, kuten suurempaa nopeutta ja parempaa ohjailtavuutta. Kilpailu kovenee ja siitä syystä uusia ratkaisuja on esitettään. Uusi DP-järjestelmä (Dynamic Positioning) esimerkiksi vaatii laivalta hyvän ohjattavuuden. Laivan pitää pysyä kohtuullisissa tuulioloissa niin tarkasti oikeassa paikassa, että esimerkiksi tankkerin öljyn pumppaus on mahdollista suoraan mereen asetetuista pumppausjärjestelmistä. Toinen tärkeä sovellus DP-järjestelmille ovat kaapelinlaskualukset. Kaapeli pitää saada laskettua ja kaivettua meren pohjaan kaapelin katkeamatta ja siten, että kaapeli on myös mahdollisimman suora, jotta se pysyisi suunnitellun pituisena.

Uusi sovellus on myös sähköinen ruoripotkurijärjestelmä, Azipod. Azipod lisää potkurijärjestelmän alkuinvestointeja, mutta esimerkiksi ohjailtavuus paranee ja pitkän potkuriakselin häviämisen takia laivaan saadaan lisää tilaa. Azipodia käsitellään tarkemmin luvussa 4.3.

Laivat ja näin myös niiden potkurijärjestelmät räätälöidään asiakkaan tarpeen mukaan ottaen luokituslaitosten määräykset huomioon. Hinta laskee, jos pystytään käyttämään standardoinnin tuomia etuja ja sarjatuotantoa. /Niini, 1995/

2.5 Sähköisen potkurijärjestelmän komponentit

Laivan kaikki teho merellä saadaan generaattoreista, joita pyritetään polttomootoreilla. Polttomoottori voi olla esimerkiksi kaasuturbiini, höyryturbiini tai dieselmoottori. Ideaalinen tilanne olisi, jos moottori olisi mahdollisimman pieni ja sen hyötysuhde olisi mahdollisimman hyvä koko tehoalueella. Dieselmoottoria käytetään useimmiten juuri hyötysuhteen tasaisuuden vuoksi. Kaasuturbiinin käyttö on järkevää, jos moottoria ajetaan jatkuvasti optimitaholla. Tämä tilanne on aluksissa, jotka ovat tarkoitettut pitkille matkoille ja joiden ohjaustarve ei ole niin suuri. Esimerkkinä laivan sähköjärjestelmästä on kuva 2.1, jossa esitetään M/S Elationin pääsähköjärjestelmä. /ABB Industry Oy, 1998//Kovanen, 1998/



Kuva 2.1: M/S Elationin pääsähköjärjestelmä. Päätaulua syöttää kuusi generaattoria. Laivan ohjauspotkurit eli trusterit saavat suoraan syöttönsä 6,6 kV:n/60Hz päätaulusta ilman suuntaajia. Tämä on mahdollista, sillä potkurit ovat säätösiipisiä. Muuntajakytkentäiset syklokonvertterit saavat syöttönsä päätaulusta muuntajien kautta. Magnetointi tulee pienjännitteisestä verkosta. Laivan pääpotkurit ovat Azipodeissa, joiden teho on 2x14MW. Muita syöttöjä ovat esimerkiksi moottorigeneraattorit sekä hotellijärjestelmä. /ABB Industry Oy, 1998/

Generaattori syöttää pääjakelukeskusta, jota tässä diplomityössä kutsutaan päätauluksi. Yleensä joko 50Hz:n tai 60Hz:n päätaulu jakautuu useisiin kenttiin, joista jokainen syöttää jotakin järjestelmän osaa. Päätaulu on jaettu vielä kahteen tai useampaan itsenäisesti toimivaan osaan, joka mahdollistaa vikatilanteessa laivan operointikyvyn säilymisen.

Päätaulussa, joka on usein joko 690V, 3,3kV, 6,6kV tai 11kV, on lähdöt sekä potkurijärjestelmän että hotellijärjestelmän osiin. Hotellijärjestelmää syötetään joko muuntajan tai moottorin ja generaattorin yhdistelmän eli moottorigeneraattorin kautta. Varsinkin vähintään 12-pulssisessa järjestelmässä moottorigeneraattoria käytetään taloudellisuuden vuoksi vain laivan sähköverkon särön kannalta vaativimpiin osiin, sillä se vie paljon tilaa laivassa ja on sekä painava että kallis. Moottorigeneraattorin huonona puolena on lisäksi, että 'puhdasta' järjestelmää varten tarvitaan kokonaan erillinen verkko, joka vie tilaa ja lisää kustannuksia. Tästä syystä moottorigeneraattori korvataan usein muuntajalla ja muilla yliaaltojen suodatusmenetelmillä, mikäli särövaatimukset näin saadaan täytettyä.

Hotellijärjestelmän jännitetasot ovat käytöstä riippuen tyypillisesti 50Hz:n taajuudella joko 380V, 400V, 660V tai 690V. Vastaavasti 60Hz:n taajuudella nämä jännitteet ovat 440V, 660V tai 690V. Häätätilannetta varten laivassa pitää olla myös hätäkeskus, johon voidaan tarpeen vaatiessa liittää hätägeneraattorisyöttö. Syöttö on tarkoitettu vain välttämättömimmille osille sähköverkkoa ja se onkin päägeneraattoreista poiketen kytketty suoraan alajännitejakelukeskukseen. /Hirsimäki, 1994/

Potkurijärjestelmään on erilliset lähdöt päätaulusta. Potkurijärjestelmän osia ovat suuntaajat, muuntajat, kuristimet moottorit ja mekaaniset vaihteet. Muuntajia käytetään joko jännitetason tai pulssiluvun muuttamiseen. Kuristimen tarkoitus on rajoittaa jännitteen säröä tai vaiheensiirtokuristimien tapauksessa nostaa pulssilukua. Mekaaniset vaihteet ovat alennusvaihteita, joita käytetään pienentämään momenttia ja siten oikosulkumoottorin fyysistä kokoa.

Tässä työssä tarkastellaan viittä eri suuntaajatyyppeä, jotka on lueteltu taulukossa 2.1.

ACS600-suuntaajassa on tasasuuntaussiltana 6-pulssinen diodi- tai tyristorisilta. Moottoria ohjataan DTC:n eli suoramomenttisäädön avulla. /Pohjalainen, 1987/ ACS600 on pienjännitteinen suuntaaja, jolla voidaan syöttää epätahtikonetta. ACS600:n syöttöjännite on 690V. ACS600 käsitellään tarkemmin luvussa 4.4.1.

SAMI MegaStarissa on ACS600:n tapaan tasasuuntaussiltana 6-pulssinen diodi- tai tyristorisilta. SAMI MegaStar on epätahtikonekäyttöön tarkoitettu suuntaaja, jonka moottoria ohjataan PWM:n avulla (Pulse Width Modulation). /Kyyrä, 1995/ SAMI MegaStar vaatii 3,3kV:n syöttöjännitteen. SAMI MegaStar on selitetty tarkemmin luvussa 4.4.2.

PWM-tahtikoneoption 3kV:n syötössä käytetään 6-pulssista diodi- tyristori- tai IGCT-tasasuuntaussiltaa (Integrated Gate Commutating Thyristor). Moottoriohjaus tehdään DTC:n avulla. PWM-tahtikoneoptiolla voidaan epätahtikoneen lisäksi syöttää myös tahtikonetta. PWM-tahtikoneoptiota on käsitelty tarkemmin luvussa 4.4.3.

Syklokonverttereita on kahta eri tyyppiä: muuntajakytkentäinen syklokonvertteri ja välijännitesyklokonvertteri. Muuntajakytkentäisistä syklokonverttereista käsitellään tässä 1000V syötöllä toimivaa perinteistä ja 1200V syötöllä toimivaa eli NTY-muuntajakytkentäistä syklokonvertteria. Eri syklokonvertterityyppejä sekä niiden valintaa käsitellään tarkemmin luvuissa 4.4.4-4.4.6.

Taulukko 2.1: Käsiteltävät suuntaajatyytit

Suuntaaja	Moottori	Syöttöjännite (V)
ACS600	Oikosulkumoottori	690
SAMI MegaStar	Oikosulkumoottori	3300
PWM-tahtikoneoptio	Oikosulkumoottori/ Tahtikone	3000
Muuntajakytkentäinen Syklokonvertteri	Tahtikone	1000/1200
Välijännite Syklokonvertteri	Tahtikone	6600

Suuntaajan jälkeen tulee käytöstä riippuen joko kuristin tai suora kytkentä propulsiomoottorille. Epätahtikonekäytöissä on usein vielä mekaaninen alennusvaihte moottorin ja potkurin välissä.

Kuristinta käytetään välijännitesyklokonvertterissa kolmannen yliaallon suodattamiseen. Tätä ratkaisua kutsutaan nollakuristimeksi. Mekaanisen alennusvaihteen tarkoituksena on mahdollistaa nopeampi ja samalla pienempi potkurimoottori. Azipodeissa vaihdetta ei tilanahtauden vuoksi voida kuitenkaan käyttää.

Kaikkia edellä mainittuja järjestelmiä käsitellään tarkemmin myöhemmissä luvuissa.

3 Potkurijärjestelmän valintaperusteet

Laivan potkurijärjestelmän valintaan vaikuttavat monet eri tekijät. Tässä kappaleessa selvitetään muutamia tärkeitä tekijöitä, joita ei yksinkertaistuksen takia oteta luvuissa viisi ja kuusi esitettävässä numeerisessa tutkimuksessa huomioon. Kaikki tämä kuitenkin vaikuttaa laivan sähkökäytön lopulliseen valintaan ja lopulta myös tutkimuksen tuloksien soveltamiseen.

3.1 Tehoalue

Laivan sähkökäytön valintaan vaikuttaa tehoalueen lisäksi vääntömomentti. Koska vääntömomentti T on verrannollinen vuon ψ ja staattorin virran I_s tuloon eli $T \sim \psi \times i_s$ nähdään, että virtataso vaikuttaa momenttiin. Toisaalta potkurin teho saadaan laskettua potkurin pyörimisnopeuden ja vääntömomentin tulon $P = \omega \cdot T$ avulla. Kullakin laivatyyppillä on tyypillinen potkurin pyörimisnopeus. Koska sähköisessä potkurijärjestelmässä generaattoreita pyöritetään aina vakionopeudella, voidaan tehoa käyttää käytön valinnan parametrinä.

Pitkiä matkoja kulkevilla aluksilla käytetään hidasnopeuksista potkuria, jossa on suuri potkurin halkaisija. Tämä parantaa hydrodynaamista hyötysuhdetta. Kun operointimatkat lyhenevät, joudutaan potkurin halkaisijaa pienenentämään. Tällöin potkurin työntövoima siis pienenee ja potkurin nopeutta joudutaan vastaavasti kasvattamaan. Tätä käsitellään tarkemmin kappaleessa 3.2.1.

Kun potkuriteho kasvaa, muuttuu myös suuntaajan tyyppi. Kaikkein matalatehoisimmissa käytöissä käytetään yleensä pienjännitteistä 690V:n ACS600-taajuusmuuttajaa. Maksimimoottoritehona tälle käytölle voidaan pitää noin 3,5MW, mikäli virta ei päätaulussa kasva liian suureksi. Tässä ratkaisussa voidaan myös käyttää matalajännitteistä päätaulua, joka on halvempi kuin vastaava välijännitteinen päätaulu. Tehon noustessa seuraava konvertterityyppi on matalajännitteinen SAMI MegaStar, jonka syöttöjännite on 3,3kV. Kun teho ja samalla virta edelleen kasvaa, valitaan tahtikone, johon käyttömahdollisuudet ovat PWM-tahtikoneoptio tai syklokonvertteri. Syklokonverttereita on kahta eri tyyppiä. Käyttötarkoituksesta ja jännitetasosta riippuen valitaan joko muuntajakytkentäinen syklokonvertteri tai välijännitesyklokonvertteri. Välijännitesyklokonvertterin syöttöjännite voi olla kuitenkin maksimissaan 6,6kV. /Lehtelä, 1998/

Jännitetason nostaminen pienentää päätaulun virtaa, joka on oleellinen rajoitetekijä tehotason noustessa. Tästä syystä päätaulun jännitetason nostaminen tulevaisuudessa on todennäköistä.

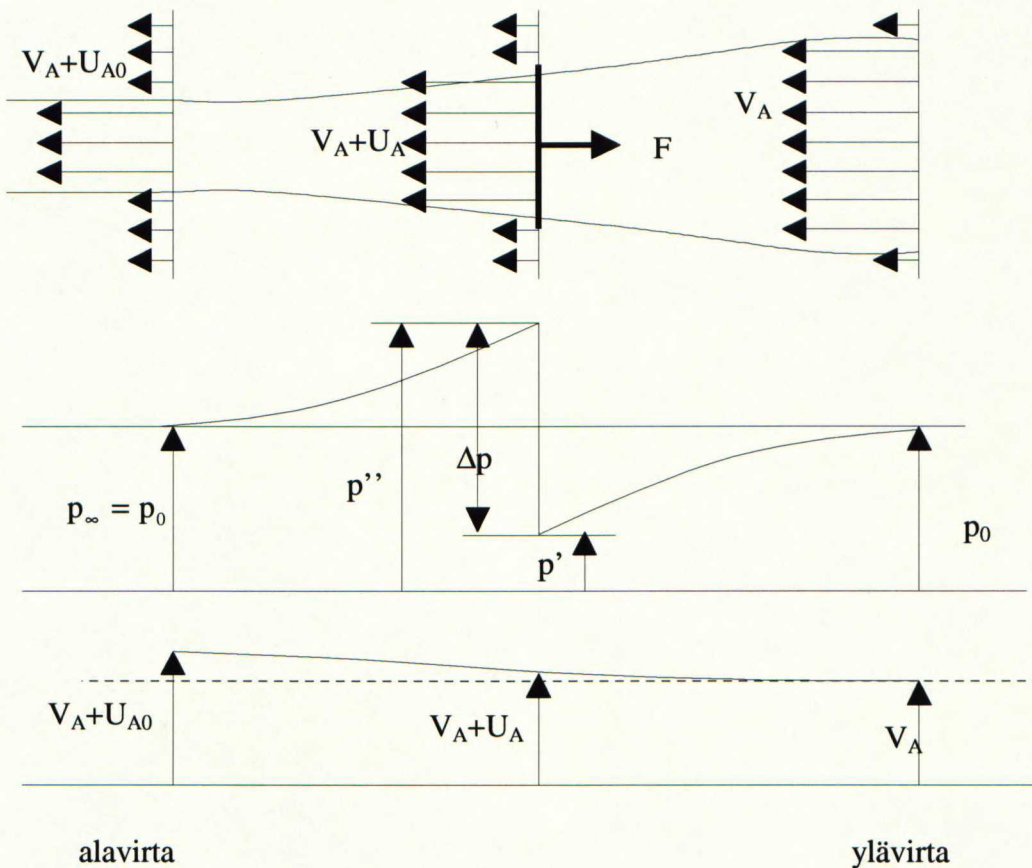
3.2 Potkuri

Laivan käytön valinnan yksi tärkeimmistä muuttujista on laivan potkuri. Potkurin nopeus ja halkaisija sekä potkurien lukumäärä vaikuttavat potkurijärjestelmän kaikkien komponenttien mitoittamiseen.

3.2.1 Potkurien kierrosnopeus ja lukumäärä

/Matusiak, 1993/

Rankinin teorian mukaan *potkurin työntövoima* = *massavirta* × *nopeusero*. Teoriaa voidaan kuvata ideaalipropulsorin avulla, jonka aiheuttama virtaus esitetään kuvassa 3.1. Ideaalipropulsori on taso, jonka voima suuntautuu ideaalisesti kohtisuoraan virtauksen suuntaan nähden. Virtauksen epätasaisuuksia ei huomioida. Ideaalipropulsorin aiheuttamasta virtauksesta voidaan laskea työntövoima. Yhtälöissä (3.1)-(3.4) V_A on tason nopeus, U_A on propulsorin tasossa oleva indusoitunut nopeus ja U_{A0} on etäällä alavirrassa indusoitunut nopeus, ρ on veden tiheys ja p on paine. Bernoullin yhtälön mukaan energia säilyy virtauksessa ja propulsori tuo lisää energiaa järjestelmään.



Kuva 3.1 Ideaalipropulsorin aiheuttama virtaus

Bernoullin yhtälön mukaan saadaan

$$\begin{cases} p_0 + \frac{1}{2}\rho V_A^2 = p' + \frac{1}{2}\rho(V_A + U_A)^2 \\ p_0 + \frac{1}{2}\rho(V_A + U_{A0})^2 = p'' + \frac{1}{2}\rho(V_A + U_A)^2 \end{cases} \quad (3.1)$$

Tästä edelleen

$$\Delta p = p'' - p' = \frac{1}{2} \rho (V_A^2 + 2V_A U_{A0} + U_{A0}^2 - V_A^2) = \frac{1}{2} \rho (2V_A U_{A0} + U_{A0}^2) \quad (3.2)$$

eli

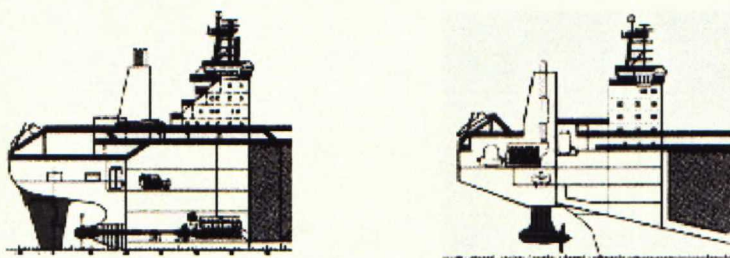
$$\Delta p = \frac{1}{2} \rho U_{A0} (2V_A + U_{A0}) \quad (3.3)$$

Kun A_0 on propulsiotason pinta-ala, saadaan työntövoimaksi

$$F = \Delta p A_0 = \frac{1}{2} \rho U_{A0} (2V_A + U_{A0}) A_0 \quad (3.4)$$

Potkurin työntövoima on siis riippuvainen propulsiotason pinta-alasta yhtälön (3.4) mukaan. Potkurin kierrosnopeus on riippuvainen potkurihalkaisijan suuruudesta. Mikäli potkurin halkaisija on suuri, on sillä myös suurempi työntövoima. Tällöin kierrosnopeuden ei myöskään tarvitse olla niin suuri kuin pienellä halkaisijalla.

Potkurihalkaisija riippuu myös aluksen syväyksestä. Jos syväys on suuri, voidaan käyttää suurempaa potkurihalkaisijaa. Potkurin sijainnin vuoksi (kuva 3.2) Azipod-tyyppistä (käsitellään tarkemmin luvussa 4.3) potkurijärjestelmää käytettäessä voitaisiin käyttää suurempaa potkurihalkaisijaa aluksen syväyksestä riippumatta. Rajoituksia tälle kuitenkin asettaa käytön koon kasvaminen sekä luokituslaitosten määräykset. Mikäli käytetään hidasnopeuksista moottoria, kasvaa myös moottorin koko. Tällöin moottori ei mahdu Azipodiin tai mekaanisen vaihteen koko aiheuttaa muita rajoituksia. Myös sataman syvyys voi aiheuttaa ongelmia. Vaikka esimerkiksi suuret öljytankkerit eivät välttämättä tarvitse satamakäyntejä lainkaan, on tilanne matkustaja-aluksilla aivan toinen.



Kuva 3.2 Perinteinen potkurijärjestelmälaiva ja vetävytyyppinen Azipod-laiva.

Jos tarvitaan suurta tehoa, syväys on pieni ja laiva on leveä, kannattaa käyttää kahta tai useampaa potkuria. Aluksissa, joissa on pieni syväys ja näin siis pieni potkurihalkaisija, saattaa useamman potkurin käyttö olla tarpeellista. Potkurien lukumäärän kasvattaminen lisää myös redundanssia, sillä järjestelmät voidaan erottaa kokonaan itsenäisiksi, kun potkureita on useampia kuin yksi. /Nurmi, 1998/

3.2.2 Kiinteäsiipinen ja säätösiipinen potkuri

Potkurin lapakulma on kiinteäsiipisessä potkurissa aina vakio. Sen sijaan säätösiipisen potkurin nousunopeutta voidaan säätää tarpeen mukaan. Kiinteäsiipisen potkurin hyvänä puolena voidaan pitää sitä, että se voidaan suunnitella hydrodynaamisesti optiminopeudelle tarkemmin kuin säätösiipipotkuri. Tällöin sen hydrodynaaminen hyötysuhdekin on parempi tällä nopeudella. /ABB Azipod Oy, 1998/

Säätösiipipotkurissa säädetään koneen tehoa eri kuormitustilanteissa ennalta määrätyn referenssin avulla. Lapojen kääntö toteutetaan yleensä hydraulisen järjestelmän avulla, mikä toisaalta lisää hintaa ja tekee rakenteen monimutkaisemmaksi. Myös huollontarve lisääntyy. Säätösiipipotkurisella laivalla on perinteisesti ollut paremmat ohjailuominaisuudet kuten myös kiihdytys- ja jarrutusominaisuudet. Myös vääntömomentti on ollut helpompi saada tasaiseksi. Tämä vähentää polttoaineen kulutusta silloin, kun tarvitaan paljon liikkeen muutoksia. Toisaalta kone voi aina pyöriä samaan suuntaan, samalla nopeudella, vaikka laivan liiketilaa haluttaisiin muuttaa tai jopa vaihtaa. /Räisänen, 1997/

Sähköinen potkurijärjestelmä on vähentänyt säätösiipipotkurin merkitystä. Azipodiin säätösiipipotkurijärjestelmää ei kannata sijoittaa, sillä siipien kääntöjärjestelmän vuoksi Azipodin koko kasvaisi liikaa. Myös hydrodynamiikka huonontuisi. Toisaalta sähköisessä potkurijärjestelmässä saadaan moottorista paras vääntömomentti myös matalilla kierrosnopeuksilla.

3.3 Hyötysuhde

Sähköisen potkurijärjestelmän tehonkäytön optimaalinen hyötysuhde on huonompi kuin suoran dieselikäytön optimaalinen hyötysuhde. Tehon tuotto voidaan kuitenkin jakaa moneen pieneen osaan. Tällöin optimitehokäytön osuus kasvaa, sillä osajärjestelmiä voidaan käyttää optimiteholla vajaateholla ajettaessa. Lisäksi vääntömomentti saadaan tasaiseksi koko nopeusalueella.

Tehoalueesta riippuen ovat sähköisen potkurijärjestelmän häviöt nimellisteholla noin 7-11 %. Toisaalta käynnissä olevien dieselgeneraattorien määrä voidaan valita optimaalisesti. Dieselmootoreita pyritään kuormittamaan mahdollisimman optimaalisella kuormitusasteella eli noin 60-80%, jolloin niiden hyötysuhde saadaan mahdollisimman hyväksi. Generaattorien vakionopeuden vuoksi on mahdollista valita myös suuremmat dieselmoottorit, jos laiva ei tältä osin ole tilakriittinen. Tästä saadaan noin 3-5% säästöt. Suorassa käytössä hitaan dieselin valinta ei olisi mahdollista, sillä moottorin nopeuden säätö kuormituksen vaihdellessa olisi liian hidasta.

Sähköisen potkurijärjestelmän pienet ja vapaasti sijoiteltavat komponentit mahdollistavat rungon tehokkaan hyödyntämisen. Käytettäessä esimerkiksi Azipod-järjestelmää voidaan myös rungon muoto suunnitella hyvällä hydrodynaamisella hyötysuhteella. Näin voidaan saavuttaa huomattavia säästöjä.

Taloudellista hyötysuhdetta arvioitaessa on muistettava, että huollontarve vakionopeuksisilla koneilla vähenee. Muita etuja ovat mekaanisen värähtelyn helpompi vaimentaminen dieselgeneraattorisysteemin vakionopeuden vuoksi. /Häkkinen, 1993/

3.4 Säröt ja niiden suodatus

3.4.1 Särövaatimukset

Laivan verkon harmooniset jännitteet ja virrat, jotka syntyvät potkurijärjestelmän suuntaajissa voivat aiheuttaa ongelmia komponenteille, joita ei ole mitoitettu toimimaan suuntaajien aiheuttamalla särötasolla. Harmooniset virrat ja jännitteet aiheuttavat ylimääräistä lämpenemistä ja häviöitä. Ne voivat myös muuttaa joidenkin laitteiden toimintaa virheelliseksi. Muita vaikutuksia ovat esimerkiksi mekaaniset värähtelyt, melu sekä häiriöt ja vääntömomenttipulssit pääpotkurijärjestelmään kuulumattomissa osissa. /Nordgaard, 1996/

Verkon särötasovaatimukset riippuvat eri luokituslaitosten säädöksistä. Erot eivät ole suuria, mutta vaikuttavat aina jonkin verran laivan suunnitteluun ja yliaaltojen suodattamiseen. Luokituslaitos valitaan laivaa rakennettaessa ja sen määräyksiä noudatetaan sen jälkeen. Luokituslaitokset ovat usein maakohtaisia. Esimerkkeinä voidaan mainita norjalainen Det Norske Veritas (DNV), britti Lloyd's, ranskalainen Bureau Veritas, italialainen Registro Italiano Navale, USA:n American Bureau of Shipping (ABS) sekä saksalainen Germanischer Lloyds.

Esimerkkinä tarkastellaan DNV:n (Det Norske Veritas) määräyksiä. Sen mukaan pääpotkurijärjestelmän ulkopuolisessa osassa kuten esimerkiksi valaistuksessa, lämmityksessä, moottoreissa ja muuntajissa harmoonisten jänniteyliaaltojen taso, joka määritellään THD%:n avulla (Total Harmonic Distortion, katso määritelmä kohdasta termit ja lyhenteet), ei saa ylittää 5%.

Pääpotkurijärjestelmän jännitteillä on erilliset vaatimukset. Näiden jännitteiden THD% ei normaaliolosuhteissa saa ylittää 10%. Varsinkin pääpotkurijärjestelmässä näkyvät jänniteyliaallot, jotka näkyvät myös päätaulussa, ovat tulkinnallisia. Jos särötaso ylitetään, täytyy valmistajan todistaa, että järjestelmä toimii. /Det Norske Veritas, 1996/

3.4.2 Pulssiluvut ja muuntajien kytkennät

Taajuusmuuttajat syöttävät verkkoon yliaaltovirtoja yhtälön

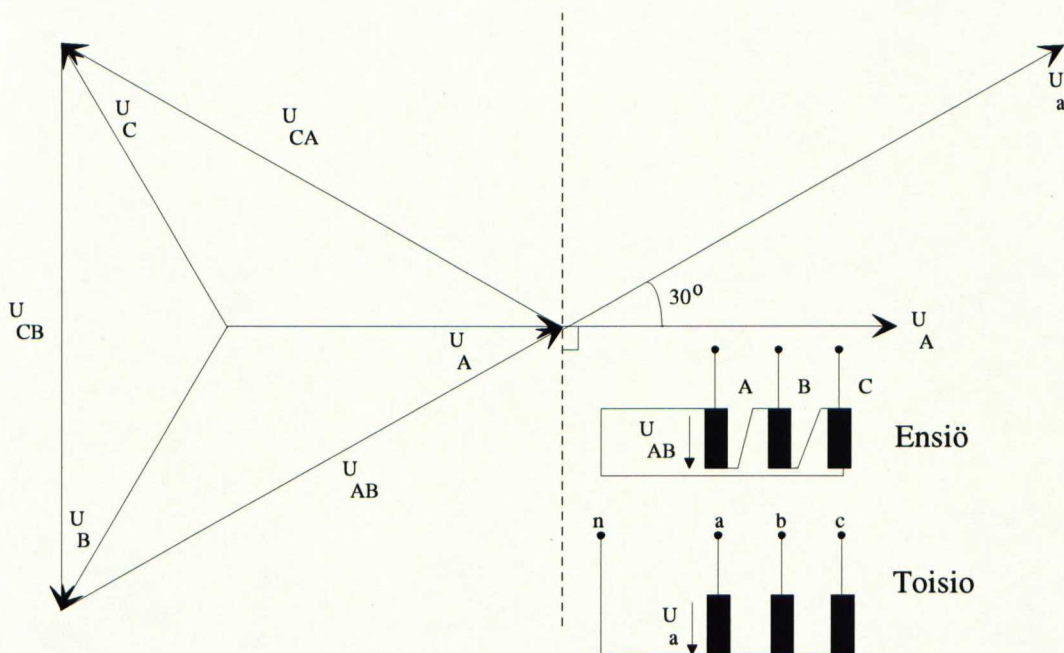
$$n = k \cdot p \pm 1 \quad (3.5)$$

mukaan, jossa n on yliaallon järjestysluku, p on pulssiluku ja k on positiivinen kokonaisluku. Tästä nähdään, että 12-pulssisessa sovelluksessa 5. ja 7. yliaaltoja ei teoreettisesti verkon puolella ole ja 24-pulssisessa ratkaisussa saadaan myös 11. ja 13. yliaalto häivytettyä. Epäideaalisuuksien takia näistä yliaalloista noin 10% säilyy. 12-

pulssisuus vähentää virran yliaaltotasoa noin 50%:lla. Jänniteyliaalto vähenee vastaavasti noin 30%:lla verrattuna 6-pulssiseen ratkaisuun. /Kyyrä, 1995//Virtanen, 1998/

Pulssiluvun kasvattaminen tapahtuu kytkemällä kaksi muuntajan toisiota 12-pulssisessa tapauksessa 30° kulmaan toisiinsa nähden ja 24-pulssisessa tapauksessa neljä muuntajan toisiota 15° kulmaan toisiinsa nähden. Kuva 3.3 esittää 12-pulssista kytkentää, jossa muuntajan ensiö on kytketty kolmioon ja toisio tähteen. Koska ensiökäämien jännitteet ovat pääjännitteitä ja toisiokäämien jännitteet ovat vaihejännitteitä, saadaan muuntosuhteeksi

$$\bar{U}_a = \frac{N_2}{N_1} \bar{U}_{AB} = \sqrt{3} \frac{N_2}{N_1} \bar{U}_A \angle 30^\circ \Rightarrow \mu = \frac{\bar{U}_A}{\bar{U}_a} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{N_1}{N_2} \angle -30^\circ \quad (3.6)$$



Kuva 3.3 12-pulssinen Dy-kytkentä.

24-pulssinen tapaus tehdään vastaavalla tavalla kolmio-hakatähti kytkennällä. Hakatähtikytkennällä voidaan tehdä mielivaltainen kulma, mutta yliaaltojen poistamiseksi muuntajien välinen kulma tulee asettaa aina tasaisin välein. Esimerkiksi 24-pulssinen sovellus asetetaan 15° kulmaan. Hakatähtikytkennässä tarvitaan siis toisio kierroslukujen suhde.

Muuntosuhde saadaan 24-pulssisessa sovelluksessa samalla periaatteella kuin 12-pulssisessa muuntajassa. Halutaan siis, että toisio on 15° ensiötä edellä. Kuvan 3.4-mukainen resultanttivektori $\bar{U}_a' + \bar{U}_a''$ on siis 15° ensiötä edellä. Ensiökäämin jännite on pääjännite. Kuvassa toisiokäämien kierroslukujen summa on $N_2 = N_2' + N_2''$,

jossa N_2' vastaa \overline{U}_a' -jännitteistä toisiokäämiä ja N_2'' vastaavasti \overline{U}_a'' -jännitteistä käämiä. Nähdään kuvasta 3.4, että muuntosuhteeksi saadaan

$$\mu = \frac{\overline{U}_A}{\overline{U}_a} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{N_1}{N_2} \angle -15^\circ. \quad (3.7)$$

Lasketaan vielä toision kierroslukujen suhde. Kun määritellään, että \vec{i} on vaakasuuntainen yksikkövektori ja \vec{j} on pystysuuntainen yksikkövektori, saadaan kuvasta 3.4

$$\begin{aligned} x \cdot \cos(30^\circ) \cdot \vec{i} + x \cdot \sin(30^\circ) \cdot \vec{j} + y \cdot \cos(30^\circ) \cdot \vec{i} - y \cdot \sin(30^\circ) \cdot \vec{j} \\ = \cos(15^\circ) \cdot \vec{i} + \sin(15^\circ) \cdot \vec{j} \end{aligned} \quad (3.8)$$

Edelleen

$$\Rightarrow \cos(30^\circ) \cdot \vec{i} \cdot (x + y) + \sin(30^\circ) \cdot \vec{j} \cdot (x - y) = \cos(15^\circ) \cdot \vec{i} + \sin(15^\circ) \cdot \vec{j} \quad (3.9)$$

Kun vielä erotellaan \vec{i} ja \vec{j} omiksi komponenteikseen, saadaan yhtälöpari

$$\begin{cases} (x + y) \cdot \cos(30^\circ) = \cos(15^\circ) \\ (x - y) \cdot \sin(30^\circ) = \sin(15^\circ) \end{cases} \quad (3.10)$$

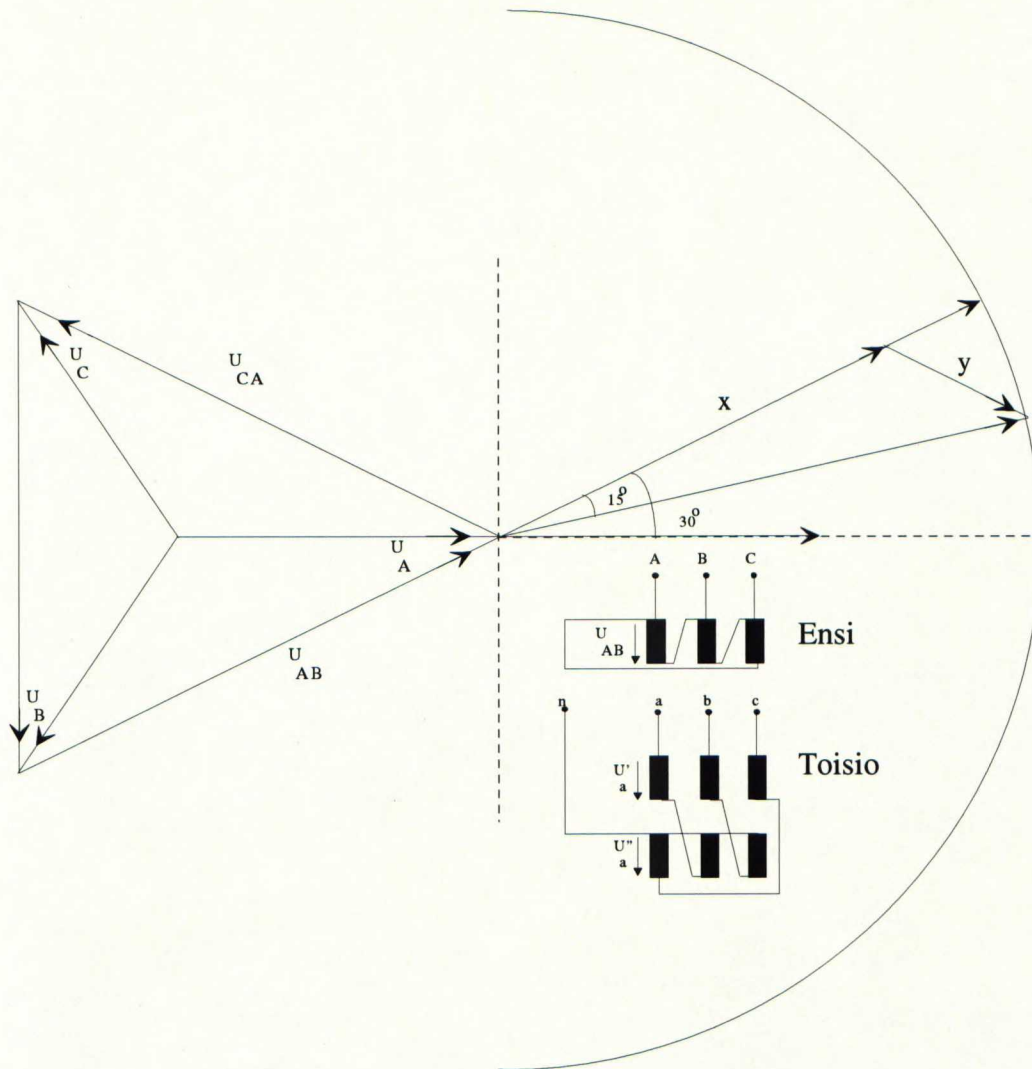
Tästä edelleen yhteenlaskulla saadaan x :n ja y :n pituuksien suhde.

$$\Rightarrow \begin{cases} x + y = \frac{\cos(15^\circ)}{\cos(30^\circ)} \\ x - y = \frac{\sin(15^\circ)}{\sin(30^\circ)} \end{cases} \quad (3.11)$$

Laskemalla yhtälöpari (3.11) yhteen, saadaan

$$\begin{aligned} x &= \frac{\cos(15^\circ)}{2 \cdot \cos(30^\circ)} + \frac{\sin(15^\circ)}{2 \sin(30^\circ)} \approx 0.816 \\ y &= \frac{\cos(15^\circ)}{\cos(30^\circ)} - x = \frac{\cos(15^\circ)}{\cos(30^\circ)} - \frac{\cos(15^\circ)}{2 \cdot \cos(30^\circ)} - \frac{\sin(15^\circ)}{2 \sin(30^\circ)} \approx 0.299 \end{aligned} \quad (3.12)$$

Näin ollen $\frac{x}{y} = \frac{0.816}{0.299}$, joka on samalla siis ideaalitoisoiden teoreettinen kierroslukujen suhde. Käyttämällä kierroslukujen suhdetta ja yhtälöä (3.7) hyväksi, saadaan muuntajien muuntosuhteet ratkaistua. /Koukkari, 1998//Luomi, 1995/

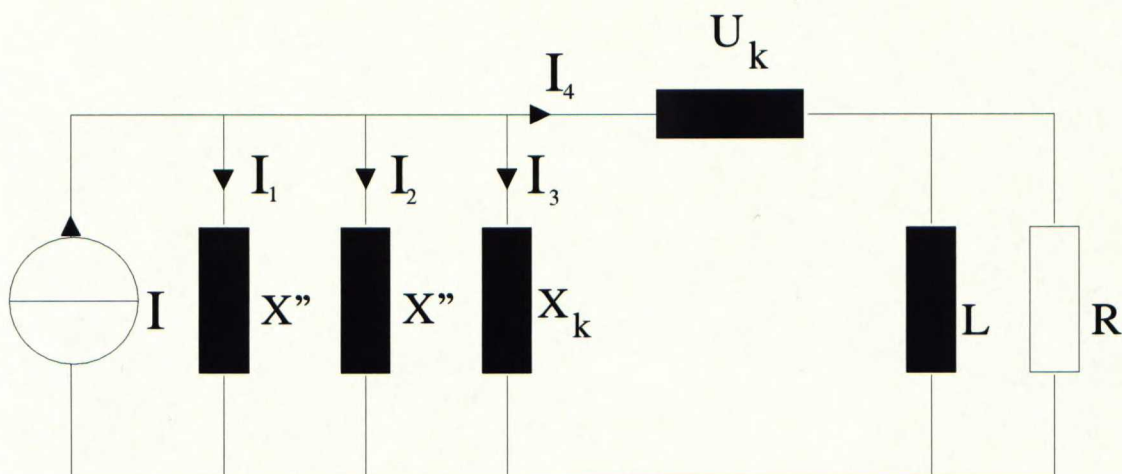


Kuva 3.4 24-pulssisessa sovelluksessa muuntajat käämitään 15° kulmaan toisiinsa nähden. Muuntaja on Dz-kytkentäinen. (Vektoreiden nuolet ovat kuvassa selkeyden vuoksi piirretty ennen vektorin päätä).

3.4.3 Generaattorien alkureaktanssin vaikutus särötasoon

Laivassa dieselgeneraattoreita on yleensä useita ja ne voivat olla keskenään eritehoisia. Jotta laivan toiminta olisi turvattu myös huollon ja korjauksen aikana, on generaattoreita yleensä vähintään kolme. Muita generaattorien määrään vaikuttavia seikkoja ovat esimerkiksi särötaso sekä tehokertoimen suuruus. /Häkkinen, 1993/

Kun dieselgeneraattoreita otetaan enemmän käyttöön, voidaan dieselmootoreita ajaa lähempänä niiden optimaalista pistettä. Koska teho $P = \omega \cdot T$ ja pyörimisnopeus dieselmootoreissa on aina vakio, on vääntömomentti tässä tapauksessa muuttuja. Jos vääntömomentin arvo ei ole optimaalinen, aiheuttaa se moottorissa hyötysuhteen heikkenemistä sekä karstoittumista. Polttoaineen kulutus ja huollon tarve lisääntyvät. Dieselgeneraattorien lukumäärän kasvaessa myös verkon THD-jännitesäro pienenee samalla propulsioteholla. Tilannetta voidaan kuvata kuvan 3.5 verkolla.

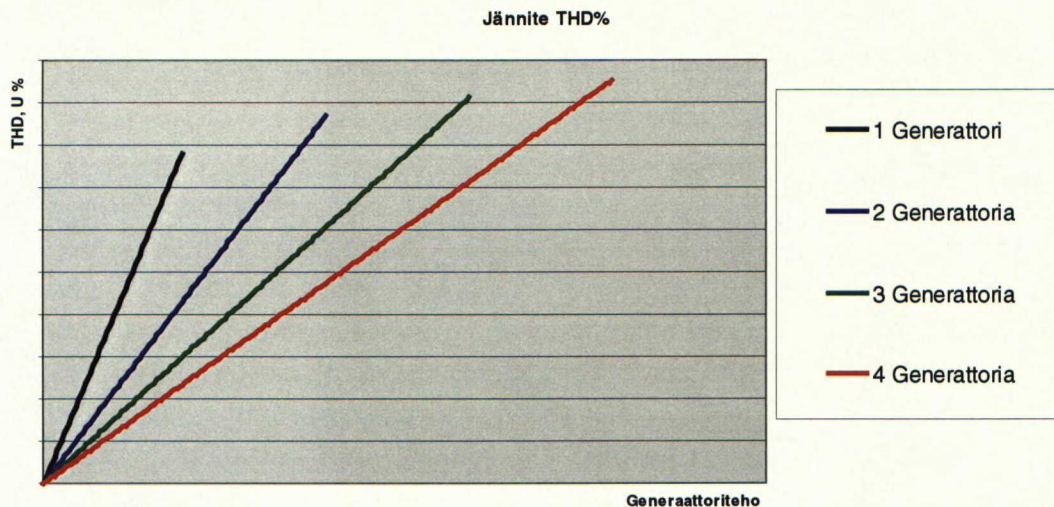


Kuva 3.5 Taajuusmuuttajassa syntyy säröä, jota kuvataan särövirtalähteellä I . Särövirtalähde syöttää verkkoa. Generaattorien X'' :ssa muodostuu samantaajuisia jännitettä virran I kanssa. Mitä enemmän generaattoreita on rinnan, sitä pienempi on jännitesärö, sillä virta I jakautuu vastuksien suhteessa verkkoon. Virtakomponentteja kuvaa virrat I_1 , I_2 , I_3 ja I_4 . Muuta verkkoa kuvaa moottorin oikosulkuimpedanssi X_k , muuntajan jännite U_k sekä hotelliverkon kokonaisinduktanssi L ja resistanssi R .

Särövirtalähde I syöttää verkkoa. Generaattorien alkureaktansseja aproksimoidaan alkureaktanssin X'' :n avulla, joka on pitkittäisen alkureaktanssin X_d'' :n ja poikittaisen alkureaktanssi X_q'' :n keskiarvo eli

$$X'' = \frac{X_d'' + X_q''}{2}. \quad (3.13)$$

Suuritaajuiset virtayliaallot aiheuttavat jännitesäröä pääasiassa alkureaktansseissa. Mitä enemmän alkureaktansseja on rinnan, sen enemmän särövirta jakautuu rinnan olevien X'' -generaattorialkureaktanssien kautta. Verkon särö on riippuvainen kokonaisimpedanssin Z suuruudesta yhtälön $U=ZI$ -perusteella. Mitä pienempi Z eli mitä enemmän komponentteja on rinnan, sen pienempi on verkon särö. Tilannetta kuvaa tarkemmin kuva 3.6. Kuvassa esitetään teoreettinen tilanne jännitesärön muuttumisesta, kun generaattorien lukumäärä kasvaa. Periaatteessa jännite-THD% pienenee lähes sen mukaan, kuinka monta generaattoria on rinnan. Tilanne ei kuitenkaan toteudu täysin ideaalisesti, sillä muunkin verkon osuus on huomioitava. Muu verkko kuten propulsiomoottorin oikosulkuimpedanssit X_k sekä alajänniteverkko muuntaja U_k mukaan luettuna ovat huomattavasti suurempia. Niinpä särö pienenee eniten generaattorien alkureaktanssejen X'' vaikutuksesta. Käyrästä kuvaa tilannetta, kun muun verkon osuus on pieni.



Kuva 3.6 Kun generaattorien lukumäärää lisätään, pienenee suuritaajuuksien jänniteylijänteiden osuus verkossa X'' -komponenttien vaikutuksesta.

Alajännitepuolella on pienempi jännitesärö kuin yläjännitepuolella. Tämä johtuu siitä, että osa särövirrasta kulkee yläjännitepuolen generaattorien alkureaktanssien kautta. Näin ollen vain osa särövirrasta tulee muuntajan kautta alajännitepuolelle. Suodattimet kannattaa siis sijoittaa alajännitepuolelle. Tällä tavoin säästetään suodattimen koossa. Suuremman jännitekestoisuuden vuoksi myös komponenttitekniikka muuttuu epäedullisemmäksi suurempijännitteisissä suodattimissa. Jäähdytystä voidaan joutua lisäämään, joka osaltaan lisää tilantarvetta. Myös nestejäähdytteiset komponentit voivat tulla kysymykseen, mikä aiheuttaa osastointitarvetta. Alajännitepuolella on myös enemmän resistiivistä kuormaa. Sen ansiosta ei pääse syntymään vaarallisia resonanssiajauksia passiivisuodattimien käytön yhteydessä. /Koukkari, 1998//Lehtonen 1996/

3.4.4 Duplexreaktori

Laivan oikosulkuteho verrattuna pääpotkurijärjestelmän tehoon on pieni. Tästä syystä yliaallot ovat erityisen haitallisia laivan heikolle verkolle.

Duplexreaktorin tarkoitus on suodattaa yliaaltoja toisioverkosta, johon sisältyy laivaverkon sellainen osa, jossa yliaaltoisuus tulisi olla mahdollisimman pieni.

Kuvassa 3.7 ilmenee duplexreaktorin kytkentäperiaate. Duplexreaktorissa on kaksi magneettisesti kytkettyä piiriä. Toinen piireistä on ensiö, toinen toisio. Ensiöpiiri on kytketty harmonisia yliaaltoja aiheuttavaan suuntaajaan. Kun suuntaaja aiheuttaa epäsinimuotoiseen virtaan verrannollisen jännitelöven, indusoituu se duplexin ensiöpiiriin yhtälön

$$U_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} \quad (3.14)$$

mukaan. Tässä U_1 on duplexin ensiön jännite, L_1 on duplexin ensiön induktanssi ja $\frac{di_1}{dt}$ on virran muutos. Jännitteen laskua ΔU_g tapahtuu myös generaattoreissa yhtälön

$$\Delta U_g = L'' \frac{di_1}{dt} \quad (3.15)$$

mukaan. Tässä L'' on generaattorin alkureaktanssi. Duplexreaktorin toisio on magnetoitu siten, että jännitteen lasku ensiöpuolella näkyy nousuna toisiopuolella duplexin ensiön ja toisio- kierroslukujen suhteessa.

$$U_2 = \frac{N_2}{N_1} L_1 \frac{di_1}{dt} \quad (3.16)$$

Duplexin ensiö siis indusoi toisioon korvaavan jänniteloven, joten ideaalisessa tapauksessa jäljelle jää häiriötön siniaalto.

Duplexreaktori on optimoitu siten, että generaattorin jännitehäviö ΔU_g on yhtä suuri kuin indusoitunut jännitelisä U_2 . Duplexin ensiön induktanssin suuruus L_1 on laskettavissa tämän perusteella yhtälöllä

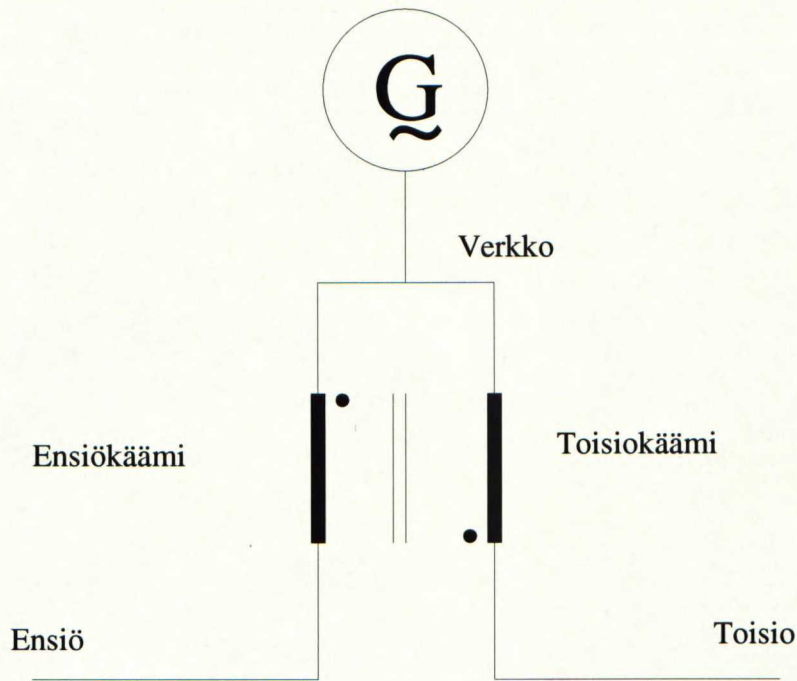
$$L'' \frac{di_1}{dt} = \frac{N_2}{N_1} L_1 \frac{di_1}{dt} \Rightarrow L_1 = \frac{N_1}{N_2} L''. \quad (3.17)$$

Perusaallolla $\frac{di}{dt}$ -arvo on suhteellisen pieni verrattuna yliaaltojen $\frac{di}{dt}$ -arvoon. Näin perusaallon arvo ei pääse muuttumaan paljoa duplexreaktorissa. Duplexreaktorin tarkoitus on tehdä toisioverkosta mahdollisimman häiriötön ensiöverkon kustannuksella. Ensiöverkon suunnittelussa tämä tulee ottaa huomioon.

Laivan päätaulu eli pääjännitekeskus on siis jaettu kahteen eri osaan, jossa toisio- jännite pidetään mahdollisimman häiriöttömänä. Ensiö- ja toisiojärjestelmä on jaettu duplexmuuntajalla, joita on yksi jokaisessa generaattorissa. Ensiöverkkoon kuuluvat potkurijärjestelmä muuttajineen. Toisioverkon tärkein osa on yleensä hotellijärjestelmä.

Duplexmuuntajan suurin ero tavalliseen muuntajaan on magnetointi-induktanssin koko. Duplexmuuntajassa magnetointi-induktanssi on pieni, jotta samalla, kun suuret muutokset poistetaan, pysyy perusaalto tarkoitetun suuruisena. Tästä syystä duplexreaktori on myös pienempi kuin vastaavatehoinen muuntaja. /Koskela & Kajava, 1997/

Duplexreaktorin ansiosta myös generaattorin alkureaktanssia X'' voidaan pienentää, sillä duplexreaktorin reaktanssi pienentää oikosulkuvirtaa. Ylimääräistä alkureaktanssia ei siis tarvita yhtä paljon kuin suorassa generaattorisyytössä.



Kuva 3.7 Duplexreaktorin periaate

3.4.5 Suodattimet

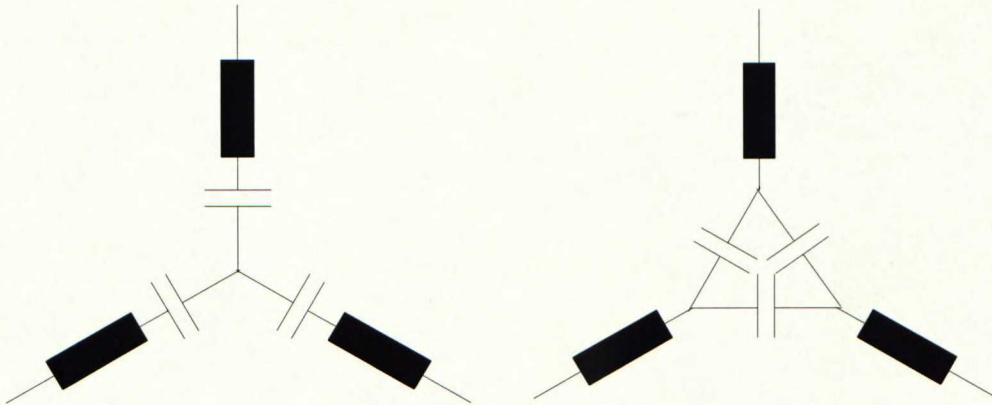
LC-filtterien eli passiivisuodattimen tarkoitus on poistaa tietyt halutut yliaallot. Mikäli LC-filttereiden induktanssiin (L) ja kapasitanssiin (C) lisätään vielä resistanssi, saadaan aikaiseksi laajakaistasuodatin. Laivakäytöissä tärkeintä on saada särö alle standardien ja asiakkaan vaatimusten mukaisesti mahdollisimman vähän tilaa vievällä, kevyellä ja taloudellisella ratkaisulla. Oleellisia yliaaltotaajuuksia suodatettaviksi ovat 5. ja 7. yliaalto. Yleensä laivoissa keskitytään amplitudiltaan suurimpaan eli 5. yliaaltoon, sillä epäideaalisuuksien vuoksi korkeisiin taajuuksiin optimoiduissa suodattimissa matalataajuiset yliaallot voivat resonoida ja aiheuttaa suuriakin yliaaltovirtoja. Erityisesti syklokonverttereilla, joissa esiintyy niin sanottuja 'liikkuvia yliaaltoperheitä' on tämä ongelmallista. Resonointia voitaisiin pienentää laajakaistasuodattimin, mutta niissä on enemmän komponentteja, joten kustannukset kasvaisivat. Tästä syystä laajakaistasuodattimia ei yleensä laivoissa olla käytetty. /Kyyrä, 1995/

Kuvassa 3.8 on tähti- ja kolmiokytkentäinen suodatinratkaisu. Tähtikytkentäisessä suodattimessa kondensaattorin yli on vaihejännite, kun taas kolmiokytkentäisessä suodattimessa kondensaattorin yli on pääjännite. Kolmiokytkennässä siis kondensaattorin jännitekestoisuus tulee olla suurempi. Toisaalta resonanssitaajuus

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3.18)$$

tulee pienemmäksi, sillä tähtikolmiomuunnoksen mukaan

$$C_\Delta = \frac{C_Y}{3}. \quad (3.19)$$



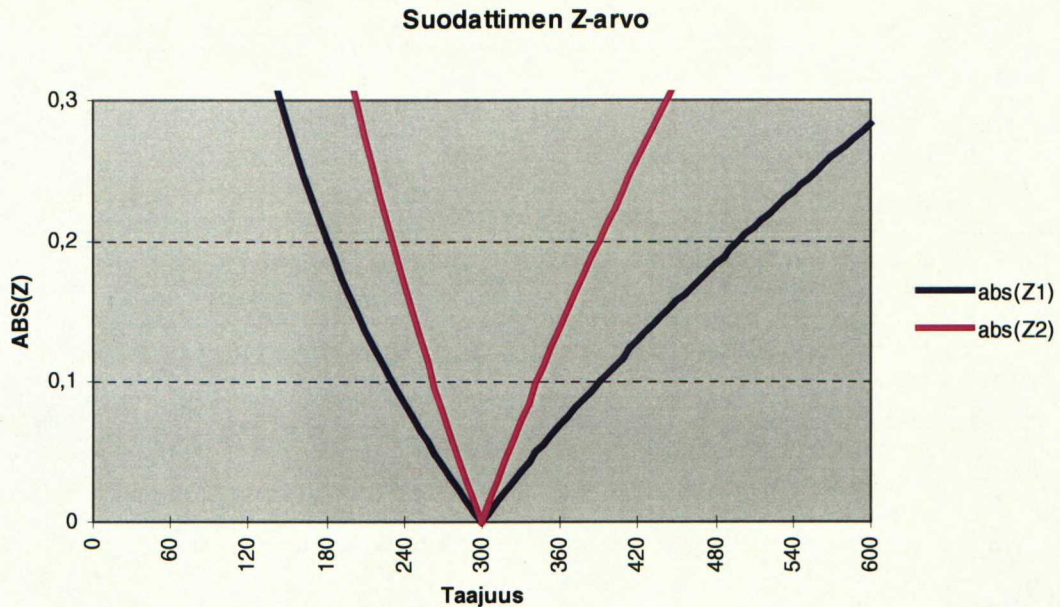
Kuva 3.8 Suodattimet tähti- ja kolmiokytkennässä.

LC-piirin heikkoutena voidaan pitää sen kondensaattoreita. Kondensaattoreiden käyttöikä on rajallinen. Lisäksi LC-piiri vie huomattavasti tilaa. Toisaalta duplexreaktorin muuntaja vie vielä enemmän tilaa ja on painavampi kuin LC-piiri. Näin erityisesti duplexreaktorin käyttöä harkittaessa kannattaa vertailla käytöstä riippuen myös 12-pulssista suuntaajaratkaisua.

Suodattimia ei pyritä käyttämään muissa kuin 6-pulssisissa sovelluksissa. 12-pulssisovelluksissahan jouduttaisiin esimerkiksi suodattamaan 11. yliaalto. Ongelma on se, että mikäli jokin verkon osa esimerkiksi vikatilanteen vuoksi otetaan pois ja jäljelle jäänyt osuus verkosta toimii 6-pulssisena, syntyy 5. ja 7. yliaaltoja. Ilmiö näkyy, kun tarkastellaan yhtälöä (3.5). Tämä voi aiheuttaa resonointia suodattimessa

Laivassa on yleensä 60Hz:n verkko. Tällöin 5. yliaalto on 300Hz. Ideaalisesti kannattaisi suodattaa 5. yliaalto tarkasti, jolloin reaktanssin arvo olisi taajuuden muuttuessa mahdollisimman suuri lukuunottamatta juuri 5. yliaaltotaajuutta. Kuitenkin laivan verkon taajuus vaihtelee potkurin toimintatilan vuoksi enemmän kuin maaverkko. Tämä aiheuttaa sen, että suodatin kannattaa mitoittaa pienemmälle reaktanssille ja näin siis laajemmalle taajuusalueelle. Kuvassa 3.9 on esimerkki suodattimien toimintakäyristä kahdella eri komponenttiarvolla.

Filttereiden mitoittamisessa on neljä pääkriteeriä. Filtterin pitää kestää suodatettava virta. Toinen kriteeri on jännitekestoisuus. Kolmanneksi on tärkeää, että järjestelmän särötaso saadaan filtlerin avulla alle luokituslaitosten määräyksien. Lisäksi pitää vielä huomioida filtterien loistehon tuotanto. Loistehoa ei saa syntyä enempää kuin generaattori kestää. /Kajava, 1998/



Kuva 3.9 *Ideaalisuodattimen toimintakäyriä kahdella eri impedanssin arvolla.*

3.4.6 Moottorigeneraattori

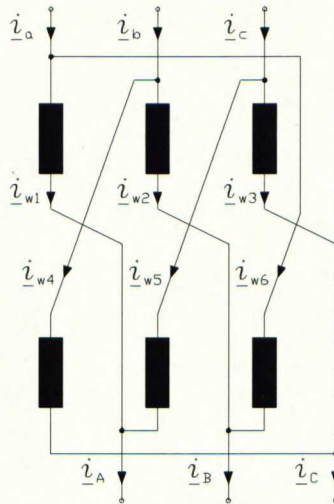
Moottorigeneraattori on viimeinen tässä diplomityössä käsiteltävä suodatusvaihtoehto. Suodatus moottorigeneraattorilla tehdään yksinkertaisesti siten, että tahti- tai epätahtimoottori ottaa tehonsa päätaulusta. Moottorilla pyritetään matalajännitteistä tahtigeneraattoria suoraan matalajännitteiseen verkkoon. Moottori- ja generaattoriyhdistelmä ei reagoi nopeisiin muutoksiin, joten saatava jännite on erittäin hyvälaatuista.

Ongelmana moottorigeneraattorin käytössä on sen kalleus. Moottorigeneraattori vie paljon tilaa, se painaa paljon ja koneikon hinta on myös suuri. Tätä järjestelmää käytetäänkin lähinnä erillisessä verkossa, kun tarvitaan hyvänlaatuista jännitettä esimerkiksi herkkiin mittalaitteisiin. Erillinen verkko vie luonnollisesti paljon tilaa laivassa. /Lehtelä, 1998/

3.4.7 Vaiheensiirtokuristimet

Vaiheensiirtokuristin, jonka kaaviokuva on esitetty kuvassa 3.10, on muuntajan tapainen komponentti, joka toimii kuristimen tapaan. Siinä ei siis ole galvaanista erotusta. Vaiheensiirtokuristin toimii kolmivaiheisesti. Sillä käännetään jännitteiden ja virtojen vaihekulmaa. Kun syötössä on kaksi vaiheensiirtokuristinta, joista toinen aiheuttaa -15° ja toinen $+15^\circ$ vaihe siirron, kumoutuvat yliaallot verkosta 30° vaihe siirtoisen muuntajan tapaisesti luvun 3.4.2 yhtälön (3.5) mukaisesti. Vaiheensiirto voidaan toteuttaa myös yhdellä 30° vaiheensiirtokuristimella. Tällöin impedanssi ei jakaudu tasaisesti suuntaajien syötössä. Jotta yliaaltojen kumoutuminen olisi

tehokasta, tulee tehon jakautua molempien vaiheensiirtokuristimien kesken mahdollisimman tasaisesti.



Kuva 3.10 Vaiheensiirtokuristin

Vaiheensiirtokuristimien etu on se, että pulssilukua voidaan nostaa käyttämättä muuntajaa. Se on pienempi, kevyempi ja halvempi kuin vastaava muuntaja. /Mikkola & Kajava, 1998/

3.5 Redundanssi

Tekniset seikat eivät ole ainoita, jotka pitää ottaa huomioon laivan turvallisuudessa. Muita seikkoja ovat esimerkiksi sää ja ihmisen oma virheellinen toiminta.

Määritelmän mukaan redundanttisuus tarkoittaa kykyä palauttaa tai pitää yllä toiminto, vaikka yksi vika ilmaantuu. Redundanttisuus siis tarkoittaa sitä, että järjestelmä pystyy toimimaan siitäkin huolimatta, että jokin sen osa pettää. Järjestelmä saadaan toimimaan varmasti jakamalla se moniin itsenäisesti toimiviin osiin. Kun jokin osa joudutaan irrottamaan muusta järjestelmästä, ei toiminta silti keskeydy eikä häiriinny merkittävästi.

Redundanttisuuden tarkoitus on tehdä järjestelmä sellaiseksi, että onnettomuuden riski saadaan minimoitua. Onnettomuuksissa voi tulla uhreja, voidaan menettää omaisuutta tai aiheuttaa luonnon saastumista. Noin 80% onnettomuuksista liittyy inhimilliseen toimintaan ja vain 20% on teknisten järjestelmien suunnitteluvirheitä. Laivojen teknisen suunnittelun taso on kasvanut jatkuvasti ja näin ollen inhimillisen erehdyksen osuus onnettomuuksien syynä on jatkuvasti nousussa. /Krapp, 1996/

Luokituslaitosten säännösten mukaan laivan redundanssi tulee toteuttaa niin, että on olemassa vähintään kaksi toisistaan riippumatonta järjestelmää, joista toisen pettäessä laiva on edelleen merikelpoinen. Vaarallista Black-Outia ei siis pääse syntymään. Jos laivassa on miehittämätön konehuone, tulee siinä olla vielä varasyöttö hätägeneraattorilla tai pienissä käytöissä akulla. Myös ylimääräisiä, vähemmän tarpeellisia kuormia on kyettävä irrottamaan tarpeen mukaan sähköverkosta. /Häkkinen, 1993/

3.6 Tilankäyttö

/Kovanen, 1998/

Eri järjestelmien fyysisten mittojen lisäksi tilaa vievät myös niiden huolto- ja asennustilat. Seuraavassa tarkastellaan järjestelmän eri osien tilankäyttöä.

3.6.1 Tilojen jäähdytys

Vain pienihäviöiset komponentit voidaan sijoittaa kompressorijäähdytettäviin tiloihin. Yleensä jäähdytys joudutaan kuitenkin järjestämään erikseen.

Jäähdytyksen lisääntyessä voidaan komponentin kokoa pienentää. Jäähdytykseen kannattaa käyttää laivan 36°C-lämpöistä LT-vesijärjestelmää (Low Temperature), kun se vain on mahdollista. Tilojen jäähdytys tapahtuu lämmönvaihtimien ja tuulettimien avulla.

LT-vedenkierron etu on sen helppous ja varmuus. Myös sen säätö ja hallinta on yksinkertaista. LT-järjestelmän vesi on tasalämpöistä, joten lämpö on helppo pitää myös osastoissa tasaisena. Vaikka lämmönvaihtimien osuus kasvaakin, saadaan kokonaistilansäästöä aikaan jäähdytyksen ansiosta. Säästöjä saavutetaan esimerkiksi sillä, että paikalliset freonipatterit voidaan jättää LT-vedenkiertojäähdytysjärjestelmästä pois.

LT-vesijärjestelmän käyttö ei ole kuitenkaan itsestäänselvyys. LT-vesijärjestelmä on rakennettu dieselmootoreita varten, joten se sijaitsee dieselmootoreiden läheisyydessä. LT-vesijärjestelmän on oltava lähellä, jotta sitä kannattaa käyttää. Jos putkia joudutaan asentamaan pitkiä matkoja, menetetään tilansäästön etu. /Kovanen, 1998/

3.6.2 Kuivamuuntaja

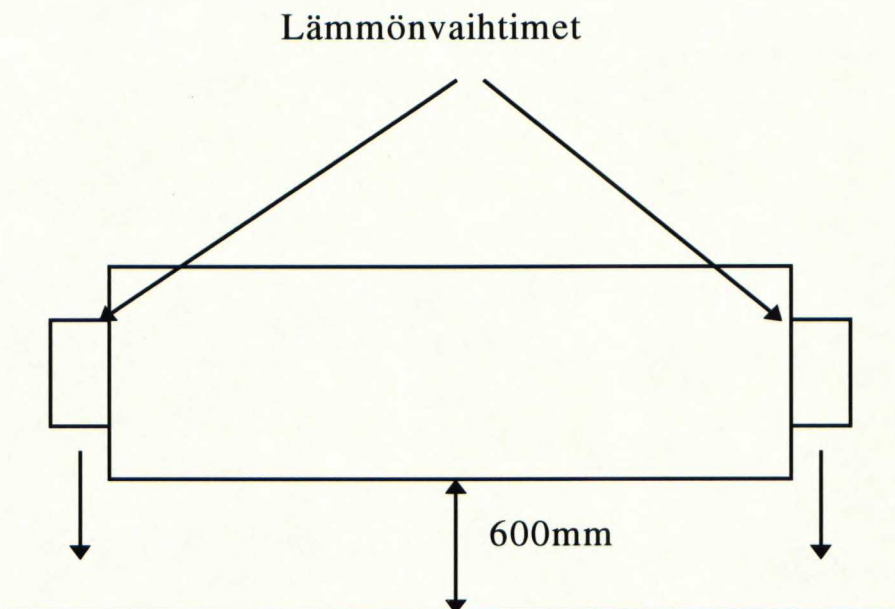
Kuivamuuntaja on huomattavasti suurempi kooltaan kuin nestejäähdytteinen muuntaja. Vapaasti jäähtyvä kuivamuuntaja on suurikokoinen, mutta mikäli voidaan käyttää laivan LT-vesijärjestelmää, voidaan jäähdytystä tehostaa lämmönvaihtimen avulla. Tätä järjestelmää käytetään muuntajissa, jotka ovat yli 1000kVA:n suuruisia. Järjestelmä toimii siten, että muuntajassa on kiinni jäähdytyslementti, johon johdetaan laivan LT-vesijärjestelmästä jäähdyttävää vettä. Muuntajan ilma kierrätetään lämmönvaihtimen ohi pumpuin. Tätä järjestelmää kutsutaan Air Forced Water Forced-järjestelmäksi (AFWF). Lämmönvaihdin on kyettävä vaihtamaan. Huoltoväli on suunnittelusta riippuen puolesta vuodesta kahteen vuoteen.

Muuntajan vieressä tulee myös olla vähintään kuvan 3.11 mukainen 600mm leveä käytävä, jotta muuntajaa pystytään huoltamaan. Tätä 600mm tilaa pidetään miniminä, jossa työmies pystyy työskentelemään huoltotoissa. Tilantarve riippuu myös muuntajien kyljissä olevien luukkujen aukaisuun vaadittavan tilan suuruudesta.

Muuntajat asennetaan laivassa usein suuren kokonsa vuoksi paikkoihin, josta niitä ei laivan rakennusvaiheen jälkeen enää ole helppoa siirtää. Tämän vuoksi asiakas usein haluaa muuntajan yhteyteen vielä varakäämin mahdollisia vikatilanteita varten.

Varakäämi vie tilaa, mutta sen avulla saatetaan säästyä esimerkiksi laivan kannen avaukselta, jos muuntaja saadaan varakäämin avulla korjattua.

Myös johdotuksien osuus pitää muistaa ottaa mitoituksessa huomioon. Muuntajan edessä pitää olla tarpeeksi tilaa, jotta voima- ja mittausjohtojen kytkentäpisteiden edessä olevat luukut voidaan aukaista ja mahdolliset korjaukset tehdä.



Kuva 3.11 Muuntajan vieressä tulee olla vähintään 600mm leveä käytävä, jotta muuntajaa pystytään huoltamaan. Lisäksi lämmönvaihtimet on pystyttävä vetämään kotelostaan ulos nuolien osoittamalla tavalla.

3.6.3 Nestetäytteinen muuntaja

Jäähdytyksen parantuessa muuntaja voidaan rakentaa pienemmäksi. Kuivamuuntajaa käytetään huomattavasti kuumemmassa lämpötilassa (95°C) kuin nestetäytteistä muuntajaa (65°C). Nestetäytteinen KFWF-muuntaja on tarpeeksi suuritehoisena jopa halvempi kuin kuivamuuntaja. Nestetäytteistä muuntajaa käytetään hieman asiakkaan vaatimuksista riippuen 3500-4000kVA:sta suurempiin muuntajiin. Se on fyysisesti pienempi ja myös kevyempi. Huoltotilaa siinä ei juurikaan tarvitse olla, sillä nestetäytteinen muuntaja on kokonaisuus, jota ei ole tarkoitus sisäosiltaan huoltaa.

Itse muuntajan fyysisiin mittoihin kuulumattomia tiloja nestetäytteisessä muuntajassa ovat nestepumppuja ympäröivät huoltotilat, nesteen näytteenotto-tila, ylivuoto-tila sekä täyttötankin tilat. Myös johdotuksien osuus pitää muistaa ottaa huomioon tilankäytössä.

3.6.4 Kuristimet

Kuristinta voidaan monessa suhteessa verrata kuivamuuntajaan. Se täytyy olla tarpeen mukaan vaihdettavissa. Kuristimen kykentä- ja asennustiloille pitää varata

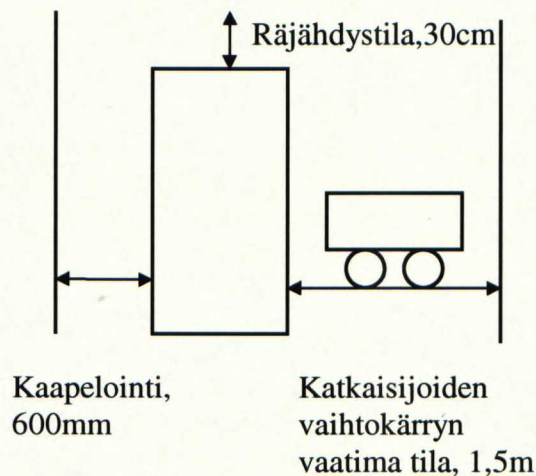
standardin mukainen 600mm leveä käytävä. Jos kuristimen jäähdytys tehdään LT-veden lämmönvaihtimien avulla, on lämmönvaihtimien huoltoon ja vaihtoon varattava riittävä tila.

3.6.5 Päätaulu sekä suuntaajat

Päätaulun standardinmukainen 600mm leveä huoltotila ei aivan riitä. Sille osalle, jossa katkaisijoita tarvitaan, on voitava kuljettaa katkaisijanvaihtokärry. Kärryn leveyden vuoksi on käytävän oltava vähintään 1,5m leveä.

Lisäksi päätaulun katkaisijoiden yläpuolelle on varattava räjähdystila, joka valmistajan vaatimuksista riippuen on noin 30cm.

Päätaulun johdotuksia varten on varattava 600mm kytkemistila, mutta jos laivassa on tuossa osassa vähän tilaa, voidaan oikealla suunnittelulla sekä katkaisijoiden että johdotusten kytkennät tehdä samalta puolelta. Katso kuvaa 3.12.



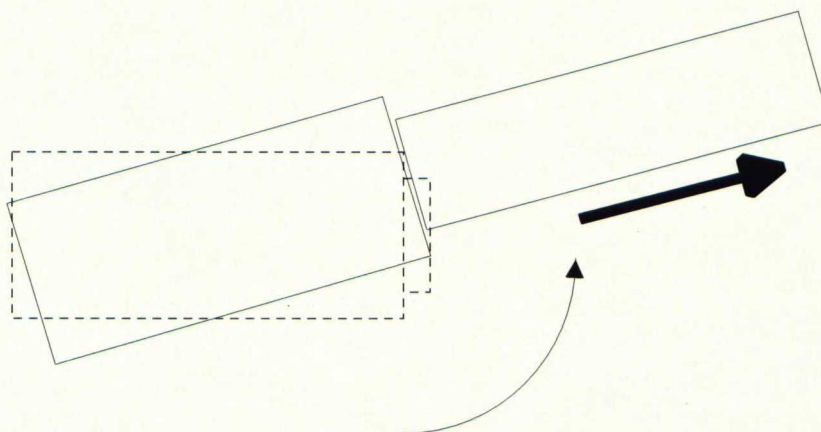
Kuva 3.12 Päätaulun ympäristössä tulee olla tilaa katkaisijoiden vaihtoon, huoltoon ja kaapelointiin. Oikealla suunnittelulla tilaa voidaan säästää sijoittamalla kytkentätilat katkaisijatilojen kanssa yhteen. Lisäksi täytyy varata erillinen räjähdystila, johon paine voi vapaasti purkautua.

Suuntaajan tilantarve on hyvin samantapainen päätaulun kanssa, joten huoltotilan leveydeksi voidaan arvioida 600mm. Erona on vain se, että suuntaajassa ei käytetä katkaisijoita.

3.6.6 Generaattorit ja propulsiomoottorit

Generaattorien ja moottorien ympäristötilojen vaatimukset ovat hyvin samankaltaisia, kun puhutaan laivan rungon sisällä olevista komponenteista. Vertailussa Azipod-järjestelmän propulsiomoottori on luonnollisesti erilainen.

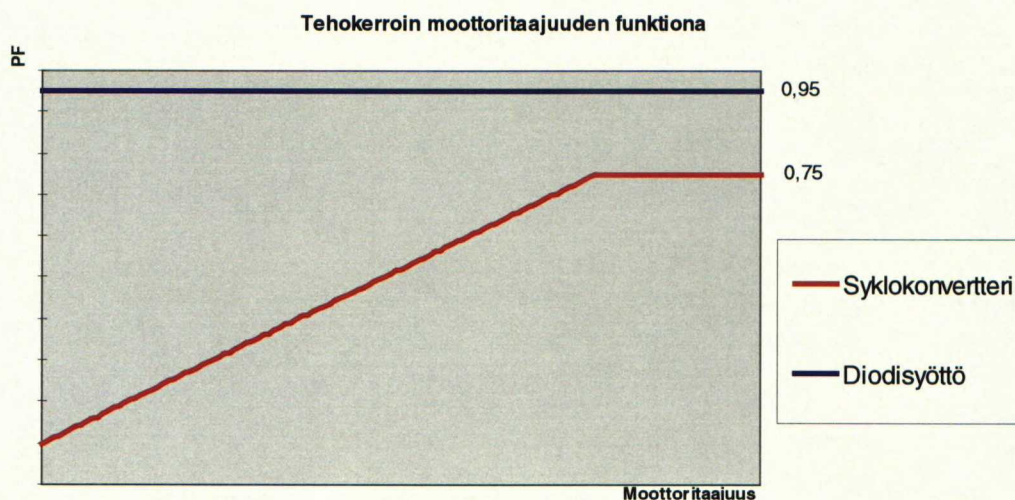
Sekä moottorista että generaattorista on kyettävä vetämään roottori pois. Usein tilan säästämiseksi koneet voidaan tätä haalausoperaatiota varten kääntää esimerkiksi kuvan 3.13 tapaan



Kuva 3.13 Haalausoperaatiossa roottori vedetään staattorista ulos. Tätä varten tilansäästämiseksi voidaan konetta tarpeen vaatiessa kääntää.

Muita tiloja sähkökoneen ympärillä ovat hätäjähdytysluukkujen vaatimat aukaisutilat, kaikki kytkentätilat sekä räjähdysluukkujen vaatimat tilat. Jos koneessa käytetään LT-lämmönvaihtimia, on niille varattava vaihtotilat samaan tapaan kuin muuntajille ja kuristimille.

Generaattorin kokoon vaikuttaa myös käyttö. Syklokonvertterin ohjauskulmaa pienennetään moottoritaajuuden kasvaessa. Tällöin verkon tehokerroin paranee. Toisaalta myös syklokonvertterin tehokertoimen yläraja kentänheikkennysalueella on 0,7-0,8 luokkaa, kun PWM:n tehokerroin on noin 0,95. Teoreettinen tehokerroin taajuuden funktiona kummallakin suuntaajatyypillä on esitetty kuvassa 3.14.



Kuva 3.14 Syklokonvertterin verkon puoleinen tehokerroin PF eli $\cos\phi$ muuttuu moottoritaajuuden funktiona, kun taas välipiirisuuntaajassa tehokerroin pysyy jatkuvasti vakiona.

Tehokertoimen maksimi-arvo riippuu kuitenkin koko verkosta. PWM:n 0,95:n arvoihin tuskin koko verkossa päästään, sillä verkossa on muita loistehoa aiheuttavia komponentteja. Huono tehokerroin lisää generaattorin tehontuottotarvetta. Loisteho kasvaa ja näin samalla pätötehon arvolla virta on suurempi. Tämä lisää generaattorin fyysistä kokoa. Generaattorin vuo kyllästyy, jolloin sen poikkipinta-alaa pitää suurentaa. Samoin napakenkien kokoa tulee lisätä. Myös lämpöhäviöt lisääntyvät. Vaikutus lisää sekä generaattorin staattorin että roottorin kokoa varsinkin, jos tarvitaan suurta tehoa pienellä pyörimisnopeuden arvolla.

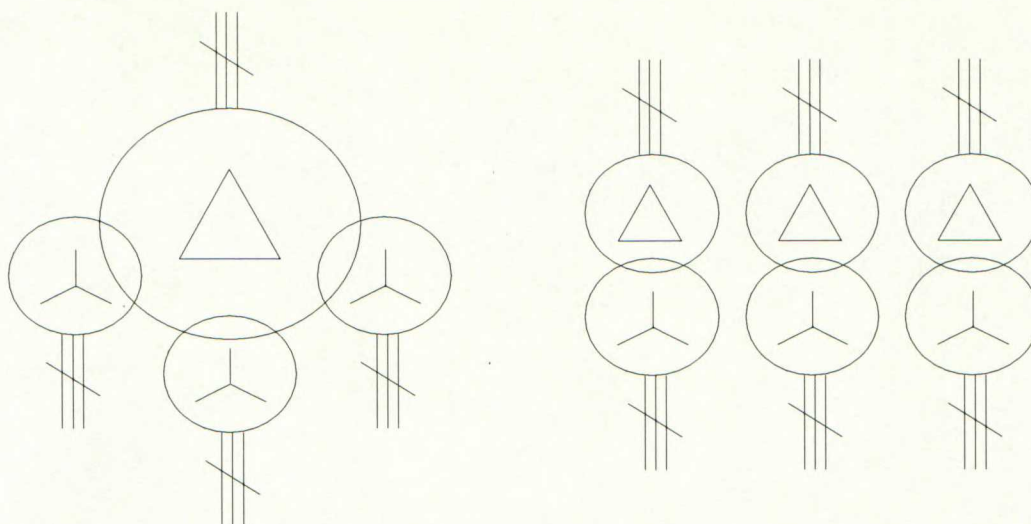
Myös generaattorin alkureaktanssi X'' vaikuttaa generaattorin kokoon. Yleissääntöisesti voidaan sanoa, että mitä pienempi suhteellinen alkureaktanssi x'' samantehoisessa generaattorissa, sen suurempi on myös generaattori. Tarkkoja arvoja ei tässä esitetä. /Kajava, 1998//Koukkari, 1998/

3.6.7 Yliaaltojen suodatuksen vaatimat tilat

Yliaaltojen suodatus on samalla sekä monimutkaisimpia että ratkaisevimpia seikkoja käyttöä valittaessa. Tässä työssä tutkittavia vaihtoehtoja ovat pulssiluvun muuttaminen muuntajien tai vaiheensiirtokuristimien avulla, duplex-reaktorit, moottorigeneraattorit, passiivisuodattimet sekä generaattorien alkureaktanssien suuruuden muuttaminen.

Pulssiluvun muuttamisessa 6-pulssisesta 12-pulssiseksi tarvitaan joko muuntaja tai vaiheensiirtokuristin jokaista konvertteria varten. Pulssiluvun kasvaessa muuntajien tai kuristimien lukumäärä kasvaa. Ylimääräiset tilavaatimukset ovat siis identtiset muuntajien ja kuristimien sekä konvertterin tilavaatimuksille. Säästöä saavutetaan, jos käytetään syklokonvertterin tapauksessa kaksikäämiämuuntajien sijasta nelikäämiämuuntajia (kuva 3.15). Vaikka nelikäämiämuuntajaratkaisu vie enemmän tilaa kuin vastaava määrä kaksikäämiämuuntajia, vievät sitä ympäröivät tilat suhteessa vähemmän tilaa.

Huonona puolena monikäämiämuuntajissa ovat kaksikäämiämuuntajia suurempi suunnittelutyö, sillä valmiita ratkaisuja ei ole yhtä paljon saatavilla. Monikäämiämuuntajat joudutaan myös tilaamaan aiemmin, sillä niiden valmistus kestää kauemmin. Toisaalta lattiatilaa menee vähemmän ja myös katkaisijoiden määrässä säästetään.



Nelikäämimuuntajaratkaisu

Erilliskäämikytkentäinen muuntajaratkaisu

Kuva 3.15 *Syklokonvertterissa käytettävä nelikäämimuuntaja, jossa on yhteinen ensiö, vaatii vähemmän huoltotiloja, vaikka itse komponentti on hieman suurempi kuin vastaava määrä kaksikäämimuuntajia.*

Esimerkkinä nelikäämimuuntajasta on liitteen 3 taulukko L3.6. Siinä esitetään vertailu kolmesta erilaisesta muuntajasta ja niiden ominaisuuksista 26,4MVA:n teholla. Nähdään, että nelikäämimuuntajaratkaisu on selvästi halvempi kuin kaksikäämimuuntajaratkaisu varsinkin silloin, kun käytetään nestejäähdytystä. Tilavuutta nelikäämimuuntaja vie vain vähän enemmän, johtuen nesteen kierron järjestelyistä. Toisaalta tilavuuteen ei olla otettu huomioon huoltotiloja, joita kaksikäämimuuntajissa ja kuivamuuntajissa tulee huomattavasti enemmän.

Erillisten muuntajien väliin tulee varata huoltotilaa vähintään 0,6m. Kuvassa 3.16 on kuviteltu tilanne.

Esimerkkikaksikäämimuuntajilla lattiapinta-ala on 3m^2 ja korkeus 2,2m. Nelikäämisellä nestemuuntajalla lattiapinta-ala on $8,7\text{m}^2$ ja korkeus 2,5m. Arvioidaan muuntajat neliön muotoisiksi, jolloin sivun pituus on neliöjuuri lattiapinta-alasta. Yksinkertaistuksena oletetaan, että huoltotilaa tarvitaan vain muuntajien välissä. Tällöin nelikäämimuuntajat vievät huoltotilaa kuvan 3.16 mukaisesti

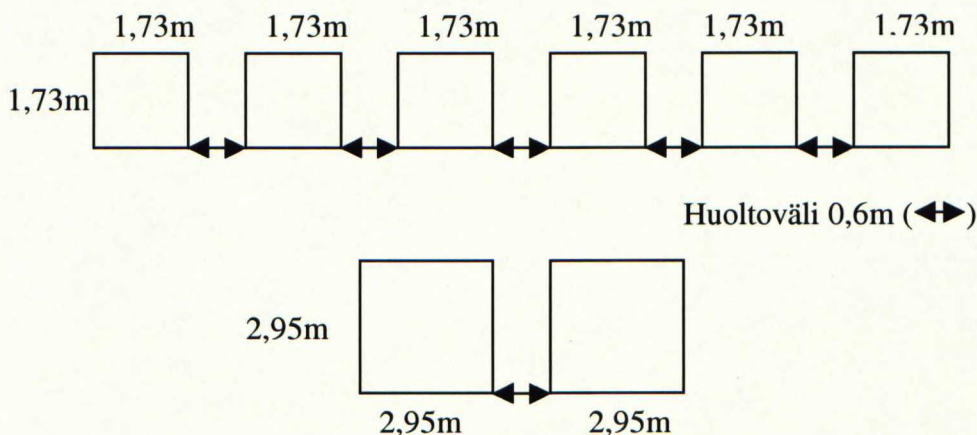
$$\text{Sivun pituus} \times \text{huoltotilan leveys} \times \text{korkeus} \times \text{välissä olevien tilojen lukumäärä} \\ = 2,95\text{m} \cdot 0,6\text{m} \cdot 2,5\text{m} \cdot 1 \approx 4,43\text{m}^3 \quad (3.20)$$

Kaksikäämimuuntajilla vastaavasti

$$\text{Sivun pituus} \times \text{huoltotilan leveys} \times \text{korkeus} \times \text{välissä olevien tilojen lukumäärä} \\ 1,73\text{m} \cdot 0,6\text{m} \cdot 2,2\text{m} \cdot 5 \approx 11,4\text{m}^3 \quad (3.21)$$

Tällöin huoltotilaa kuluu siis noin 7m^3 enemmän, joten kokonaistilavuus on siis näin pessimistisestikin arvioituna huomattavasti suurempi kaksikäämimuuntajilla kuin

nelikäämimuuntajilla. Lisäksi nestemuuntajaratkaisu on vielä paljon kevyempi kuin vastaava kuivamuuntajaratkaisu.



Kuva 3.16 Nelikäämisissä muuntajaratkaisuihin huoltotilaa ei kulu yhtä paljoa kuin kaksikäämisissä ratkaisuihin.

Jos muuntajat ovat vierekkäin ja huoltotilaa on kaikkialla ympärillä 0,6m, vie kaksikäämimuuntaja huoltotiloineen vastaavasti

Leveys \times syvyys \times korkeus

$$\begin{aligned}
 &= (\text{Muuntajien lukumäärä} \times \text{muuntajan sivun pituus} + \text{huoltotilojen osuus}) \times \\
 &(\text{muuntajan sivun pituus} + \text{huoltotilojen osuus}) \times \text{korkeus} \\
 &= (6 \cdot 1,73\text{m} + 7 \cdot 0,6\text{m}) \cdot (1,73\text{m} + 2 \cdot 0,6\text{m}) \cdot 2,2\text{m} \approx 94 \text{ m}^3 \quad (3.22)
 \end{aligned}$$

Nestejäähdytteisille nelikäämimuuntajille vastaavasti

Leveys \times syvyys \times korkeus

$$\begin{aligned}
 &= (\text{Muuntajien lukumäärä} \times \text{muuntajan sivun pituus} + \text{huoltotilojen osuus}) \times \\
 &(\text{muuntajan sivun pituus} + \text{huoltotilojen osuus}) \times \text{korkeus} \\
 &= (2 \cdot 2,95\text{m} + 3 \cdot 0,6\text{m}) \cdot (2,95\text{m} + 2 \cdot 0,6\text{m}) \cdot 2,5\text{m} \approx 80 \text{ m}^3 \quad (3.23)
 \end{aligned}$$

Nähdään siis, että tässä arvioissa nestejäähdytteinen nelikäämimuuntaja vie

$$\frac{(94 - 80) \text{ m}^3}{94 \text{ m}^3} \cdot 100 \% \approx 15 \% \quad (3.24)$$

vähemmän tilaa kuin kaksikäämimuuntaja.

Duplex-reaktori on myös eräänlainen kuristinjärjestelmä. Se vie jokaista generaattoria kohden kuristimien tapaan omat huoltotilansa. Duplexia käsiteltiin tarkemmin kappaleessa 3.4.4.

Moottorigeneraattori on nimensä mukaisesti moottori, joka syöttää generaattoria. Tämä ratkaisu vaatii kuitenkin paljon tilaa. Se vaatii erillisen verkon itselleen, sillä yleensä moottorigeneraattoriratkaisua käytetään vain tärkeimpiin verkon osiin

laivassa. Esimerkkinä käytetään M/S Elationin moottorigeneraattoreita taulukossa 3.1.

Taulukko 3.1 M/S Elationin moottorigeneraattorit /Ijäs, 1998/

	Teho/ Nopeus/ Taajuus	Jännite/ Virta	Tilavuus Yhteensä (m ³)	Paino Yhteensä (kg)	Hintaindeksi Yhteensä
Epätahti- moottori	1 500kW/ 1 189RPM/ 60Hz	6 600V/ 160A	4,305	9 170	132
Generaat- tori	1 800kVA/ 1 200RPM/ 60Hz	450V 2309A			

Passiivisuodattimia sijoitetaan laivaan tarpeen mukaan. Niitä voidaan käyttää myös loistehon kompensointiin, johon ei tässä työssä sen enempää syvennyttä. Passiivisuodattimet kannattaa sijoittaa alajännitepuolelle, sillä alajännitepuolella särötaso on alhaisempi kuin yläjännitepuolella (katso kappale 3.4.3). Passiivisuodattimet vaativat standardinmukaisen 600mm levyisen huoltokäytävän, räjähdystilan sekä johdotuksen kytkentätilan. Jokaiseen itsenäiseen haaraan, jossa särövaatimukset tulee täyttyä, on kytkettävä oma suodattimensa. Taulukossa 3.2 esitellään esimerkkinä tyypillinen alajännitepuolen passiivisuodatin. Tässä ratkaisussa käytetään kahta 232kVar:n suodatinkaappia. Ratkaisu on tyypillinen, sillä suodatin on redundanssin vuoksi jaettu kahteen eri kaappiin. Tarpeen vaatiessa toiseen kaappiin voitaisiin asentaa 7. yliaallon suodatin. Sitä ei kuitenkaan resonoimisvaaran vuoksi tehdä.

Taulukko 3.2 Esimerkkipassiivisuodatin /Laakso, 1998/

Tyyppi	Loisteho	Kapasi- tanssi/ Induk- tanssi	Yli- aalto- mitoi- tus	Tila- vuus (m ³)	Paino (kg)	Hinta- indek- si
2xFHF, 500kvar/ 660V 60/295Hz (5.yliaalto- suodatin)	232+ 232kVar/ 660V/ 50Hz	3,045mF/ 0,096mH	5.yli- aalto 2x450A	3,93	1 100	26,1

Särötasoa voidaan vielä pienentää pienentämällä generaattorien alkureaktanssia X''. Generaattorien X'':a voidaan pienentää pidentämällä esimerkiksi roottorin pituutta. Jos roottorin pidentäminen eri riitä, voidaan sen halkaisijaa suurentaa. Alkureaktanssin vaikutusta roottorin pituuteen voidaan arvioida kokemuseräisen yhtälön

$$l_2 = \left[\left(\left(\frac{x_{d,1}''}{x_{d,2}''} - 1 \right) \cdot 0,7 \right) + 1 \right] \cdot l_1$$

(3.25)

avulla. /Jaakkola, 1998/

Tässä $x''_{d,1}$ on vertailugeneraattorin alkureaktanssin pitkittäisarvo, $x''_{d,2}$ on halutun uuden generaattorin alkureaktanssi. Pituudet ovat vastaavasti merkityt l_1 :llä ja l_2 :lla.

Taulukossa L1 liitteessä 1 on muutama esimerkkigeneraattori. Yhtälön (3.25) perusteella lasketaan teoreettinen tilavuus eri suhteellisen pitkittäisen alkureaktanssin arvoilla. Tulokset ovat esitetyt taulukossa 3.3.

Taulukko 3.3 Generaattorien tilavuuksia eri x''_d :n arvoilla.

Gene- raat- tori	Teho (kVA)	Tila- vuus (m ³)/ x_d	Tilavuus $x''_d=14\%$ (m ³)	Tilavuus $x''_d=15\%$ (m ³)	Tilavuus $x''_d=16\%$ (m ³)
AMG 900MP10	4389	21,97/ 14,4%	22,41	21,35	20,43
AMG 900LR10	4974	23,20/ 14,6%	23,89	22,76	21,78
AMG 1250PP10	9752	41,56/ 13,5%	40,53	38,65	37,02
AMG 1250UU14	9752	46,53/ 14,3%	47,22	45,01	43,07
AMG 1600PP14	1105 3	69,35/ 14,1%	69,69	66,43	63,58
AMG 1120MP10	6925	31,09/ 14,8%	32,33	30,80	29,46
AMG 1120LR10	7849	32,83/ 14,9%	34,31	32,68	31,25
AMG 1600TT14	1484 0	75,49/ 14,8%	74,74	71,26	68,22
AMG 1600UU14	1681 8	77,25/ 14,4%	78,79	75,08	71,84

Kun tarkastellaan taulukkoa 3.3 havaitaan, että yhden prosenttiyksikön muutos x''_d :n arvossa vastaa siis noin 5% generaattorin koossa. Tämä siis olettaen, että generaattorin roottorin pituuden lisääminen riittää ja ei tilan ahtauden vuoksi jouduta suurentamaan generaattorin halkaisijaa. Paino muuttuu tilavuuden kanssa samassa suhteessa. Hinta riippuu myös suunnittelun määrästä, mutta ainakin materiaalikustannukset kasvavat tilavuuden suhteessa. /Jaakkola, 1998/

Esitetään vielä tilavuus, paino ja hinta yhden prosenttiyksikön alkureaktanssin muutokselle eli lasketaan 5% arvo tilavuudesta, painosta ja hinnasta. Tulokset ovat taulukossa esitetty liitteen 1 taulukossa L1. Arvot ovat suuntaa-antavia.

Generaattorin alkureaktanssin vaikutusta särötasoon käsiteltiin luvussa 3.4.3.

3.6.8 Osastointi

Osastointitarve on kiinni redundanssin säilyttämistarpeesta sekä paloaluemääräyksistä. Pyrkimyksenä on saada kunkin käytön solmupisteet omille osastoilleen, jotta redundanssi säilyisi. Paloturvallisuuden kannalta aluksen perä ja keula pyritään jakamaan erillisiksi.

Muita kriteerejä osastojen sijoittelulle asettaa laivan painon jakauma. Esimerkiksi dieselmoottorit ja generaattorit pyritään asentamaan mahdollisimman keskelle laivaa, jotta laiva olisi mahdollisimman hyvin tasapainossa. Samalle paloalueelle asennetaan myös näihin komponentteihin kuuluvat päätaulun osat. Sen sijaan suuntaajat, muuntajat ja kuristimet sekä muu potkurimoottoriin liittyvä pyritään asentamaan häviöiden vuoksi mahdollisimman lähelle laivan peräosaa. Azipod-laivassa tämä on helppo toteuttaa, mutta laivassa, jossa on perinteinen akselijärjestelmä, joudutaan vaatimuksissa väkisinkin joustamaan.

Laivassa on kaksi erillistä konehuonetta ja päätauluhuonetta silloin, kun päätaulu on jaettu kahtia. Myös muu sähkökäyttö on jaettu samalla periaatteella erillisiin osastoihin. Jos toisessa puolessa käyttöä on enemmän komponentteja kuin toisessa, joudutaan komponentit jakamaan toimintatärkeyden mukaan. Esimerkiksi keulaohjauspotkureista kaikkein keulimmaisiet potkurit ovat laivan kannalta tärkeämpiä kuin keskemällä laivaa olevat.

Hotellijärjestelmä on yleensä laivan taloudellisesti tärkein osa. Lastin redundanttisuus pyritään tekemään korkeaksi. Tästä syystä hotellijärjestelmän jokainen syöttömuuntaja pyritään asentamaan omaan osastoonsa. Sama pätee myös moottorigeneraattoreille. /Kovanen, 1998/

3.6.9 Kaapelointi ja asennus

Suuret magneettikentät saattavat aiheuttaa häiriöitä herkille elektronisille laitteille. Tästä syystä kaapeloinnissa pitää ottaa huomioon, että suurivirtaiset johdot sijoitetaan kauas herkistä laitteistoista.

Asennettaessa johtoja tulee niiden olla symmetrisesti asennettuja siten, että kaapelit, jotka lähtevät samasta paikasta ja tulevat samaan paikkaan ovat yhtä pitkiä. Järjestelmät, jotka ovat redundanssin saamiseksi asennettu erillisiksi, on erotettava myös kaapeloinnin puolesta. /Kuuskoski, 1996/

Kaapeloinnissa pyritään välttämään palovaarallisia alueita kuten keittiötä ja konehuonetta. Redundanssin turvaamiseksi samaan tarkoitukseen vedettävät kaapelit tulee vetää kohteeseensa eri reittejä pitkin. /Kovanen, 1998/

3.7 Jäissä kulku

Kun alus joutuu kulkemaan jäissä, osuvat potkurin lavat jäähän. Tämä aiheuttaa hetkellisiä momenttipiikkejä. Nämä momenttipiikit merkitsevät samalla hetkellisiä virtapiikkejä. Jännitevälipiirivaihtosuuntaajissa tämä tulee huomioida

ylimitoittamalla invertteripuoli. Hetkellisen tehopiikin vaatima tehonlisäys saadaan jännitevälipiirivaihtosuuntaajissa kondensaattoreista. Syklokonvertterin tyristorisilta sen sijaan kestää kovaakin hetkellistä ylikuormitusta, jolloin ylimitoitusta ei tarvita. /Hentunen, 1998//Gango, 1998/

Myös mekaanisen vaihteen mitoitus muuttuu, jos alus on tarkoitettu jääolosuhteisiin. Hetkelliset momenttipiikit nostavat vaihteen kokoa, hintaa ja painoa, mikä tulee huomioida laskelmissa.

3.8 Miehistö

Aluksessa, jossa on sähköinen potkurijärjestelmä, tarvitaan miehistöön henkilö, jolla on koulutus ja oikeus työskennellä tiloissa, joissa on korkea jännite. Sähköisen potkurijärjestelmän ylläpitoon tarvitaan myös automaatiojärjestelmät hallitseva henkilö. Tämä ei kuitenkaan yleensä aiheuta ongelmia, sillä nykyään sähköalan ihmisiä on enemmän koulutettuina. Todennäköisesti pari miehistön jäsentä valitaan näiden vaatimusten mukaan tai yhdellä miehistön jäsenistä on koulutus molempiin vaatimuksiin. Lisämiehitystä tuskin tulee, vaikka koulutusvaatimus hieman lisääntyy. /Nurmi, 1998//V Wilthill, 1996/

4 Eri järjestelmät sekä niiden hyödyt ja haitat

4.1 Sähköisen potkurijärjestelmän komponentit ja niiden valinta

4.1.1 Generaattori

Tässä työssä ei keskitytä generaattoreihin muuten kuin säröjen kannalta.

Säröt riippuvat verkon vahvuudesta. Jos u on virran nopeasta muutoksesta aiheutuva jännitesärö, L'' on generaattorin alkuinduktanssi, joka on pitkittäisen ja poikittaisen komponentin keskiarvo ja $\frac{di}{dt}$ on virran muutos, saadaan yhtälö

$$u = L'' \frac{di}{dt} . \quad (4.1)$$

Yhtälöstä voidaan päätellä, että jännitesärön pienentämiseksi generaattorin alkureaktanssi X'' olisi mitoitettava mahdollisimman pieneksi. Tässä alkureaktanssi on taa-juudesta ja alkuinduktanssista riippuva komponentti. Alkureaktanssin suuruudella on merkitystä vain nopeissa muutoksissa, jollaisia säröpiikki sekä vikatilanteessa tapahtuva oikosulkuvirta ovat.

Päätaulun katkaisijat eivät voi katkaista ääretöntä oikosulkuvirtaa. Oikosulkuvirran maksimiarvo katkaisijasta riippuen on korkeintaan muutama kymmenen kiloampeeria. Oikosulkuvirtaa I_k voidaan myös arvioida generaattorin alkureaktanssin avulla. Oikosulkuvirta riippuu jännitesärön tapaan koko verkon komponenteista sekä myös muista reaktiivisista ja resistiivisistä komponenteista kuin alkureaktanssi. Hyvällä tarkkuudella voidaan oikosulkuvirtaa kuitenkin arvioida pelkästään alkureaktanssin pitkittäisen komponentin X_d'' avulla yhtälöllä

$$i_k = \frac{u}{X_d''} . \quad (4.2)$$

Oikosulkuvirran kannalta siis olisi X_d'' mitoitettava mahdollisimman suureksi. Generaattorin alkureaktanssin suuruuden optimointi tehdään siis säröjen ja oikosulkuvirran kestävyysmukaan. /Koskela, 1998/

4.1.2 Päätaulu

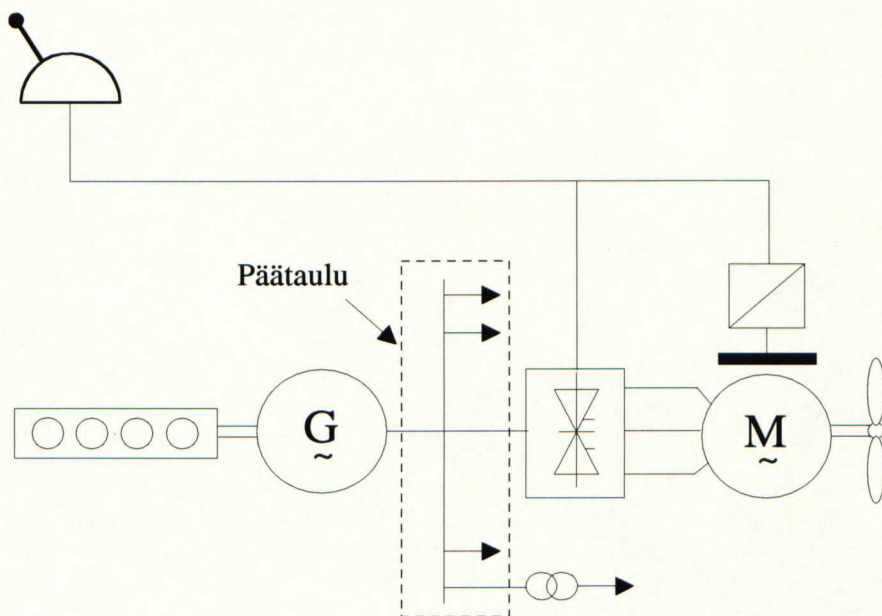
Laivan pääsähkönjakelujärjestelmää kutsutaan tässä työssä päätauluksi. Kuvassa 4.1 on esimerkki päätaulusta.

Päätaulua syötetään generaattoreilla, jotka muodostavat kiskostoon halutun vaihtojännitteen. Vaihtojännitteen taso on yleensä joko 690V, 3300V, 6600V. Tehon noustessa joudutaan jännitettä nostamaan. Seuraava askel onkin sitten 11kV:n järjestelmä.

Muita rajoittavia tekijöitä ovat hetkelliset sekä lyhytkestoiset virrat, joiden rajoittamisessa voidaan käyttää hyväksi kuristimia sekä esimerkiksi generaattorin alkureaktanssia X'' .

Välijännitepäätaulukkaappi muodostuu kentistä. Yhdessä kentässä on aina yhden yksikön toiminta eli esimerkiksi generaattorin tulo, taajuusmuuttajan lähtö tai laivan hotellijärjestelmän lähtö. Jokaisessa itsenäisesti toimivassa päätaulun osassa täytyy lisäksi olla yksi mittauskenttä.

Generaattori-, moottori-, ja kiskonkatkaisukentissä käytetään 3,3kV:n järjestelmästä ylöspäin yleensä SF6-tyyppistä katkaisijaa. Pienivirtaisissa käytöissä voitaisiin myös käyttää kontaktoreita. Virran ylärajana voidaan pitää SF6:lla 2,5kA. Muita mitoitusvaikuttavia seikkoja ovat esimerkiksi oikosulkuvirrat ja terminen kestoisuus. Oleellista laivakäytön kannalta tässä ovat päätaulun viemä tila, paino ja hinta. /Leppänen, 1998/



Kuva 4.1 Päätaulu huolehtii laivan sähkönjakelusta. Päätaulua syötetään generaattoreilla, joita taas pyöritetään esimerkiksi dieselmootoreilla. Päätaulussa on useita lähtöjä laivan eri järjestelmiin.

Pienjännitteisissä kiskonkatkaisukentissä voi olla hieman suurempi virta kuin välijännitekojeistossa. Esimerkkinä voidaan mainita nimellisjännitteellä 690V oleva MNS pienjännitekojeisto. Sen kokoomakiskoston virtaraja on 5kA. Toisaalta sen pystykiskoston eli laitteistolle menevän tai generaattorilta tulevan kiskoston virtaraja on vain 1,8kA, joka aiheuttaa rajoituksia käytölle. Yhden kenttäkaapin koko riippuu virran suuruudesta. Erona välijännitekaapistoon on siinä, että kenttiä laitetaan samaan kaapistoon useita kappaleita. /ABB Control Oy, 1997//Luoma, 1998/

Muita rajoittavia tekijöitä päätaulun mitoituksessa ovat päätaulun terminen yhden sekunnin kolmivaiheinen oikosulkuvirta, sekä dynaaminen oikosulkuvirta, joka on vielä noin 2,5 kertaa suurempi kuin terminen oikosulkuvirta.

Termistä oikosulkuvirtaa voidaan arvioida yhtälöllä

$$I_k = \frac{\sum_i \frac{S_{G,i}}{x_{d,i}''}}{\sqrt{3}U_{p-taulu}}, \quad (4.3)$$

missä $S_{G,i}$ on generaattorin i näennäisteho, $x_{d,i}''$ on generaattorin i suhteellinen alkureaktanssin pitkittäiskomponentti ja $U_{p-taulu}$ on päätaulun pääjännite. Yhtälössä lasketaan siis kaikkien generaattorien aiheuttama oikosulkuvirta.

Tarkasti ottaen tähän pitäisi ottaa koko verkon kokonaisimpedanssi sekä alkureaktanssien pitkittäiskomponenttien lisäksi myös poikittaiskomponentit sekä muutosreaktanssit. Tällöin laskennasta tulee kuitenkin erittäin monimutkaista ja tarkkuuden paraneminenkin on marginaalista. Virhemarginaali on varsin pieni, jos käytetään arvioinnissa pelkästään pitkittäistä alkureaktanssia x_d'' . Tämä helpottaa laskentatyötä ja on riittävä kaupallista arviota varten päätaulua mitoittaessa.

Tässä työssä termisen oikosulkuvirran huippuarvo on SF6-katkaisijalla välijännitepäätaululla joko 25kA tai 40kA. Matalajännitepäätaulun maksimioikosulkuvirta on 45kA ABB SACE F1S-katkaisijalla. Dynaamista oikosulkuvirtaa ei tässä arvioida, sillä se riippuu verkon ominaisuuksista siten, että standardiratkaisua yritettäessä ei voida tehdä yleistystä. Tässä työssä oletetaan aina, että dynaamista oikosulkuvirtarajaa ei ylitetä.

4.1.3 Muuntajat

Muuntajia tarvitaan jännitetason muuttamisen lisäksi myös pulssiluvun kasvattamiseen sekä galvaaniseen erottamiseen.

Muuntajien koko riippuu käytöstä. Muuntajan jännitetason pienentyessä, voidaan eristysmitoitusta pienentää. Tällöin myös muuntajasta saadaan pienempi. Eristyskanavat pienenevät ja täytekerroin paranee. Luonnollisesti virran kasvaessa häviöt kasvavat. Tämä taas hieman kasvattaa muuntajaa. /Sakari Laine, 1998/

Kuvassa 4.2 ilmenee syklokonvertterikäytön virrat eri käytön osissa. Lasketaan seuraavaksi mitoituskerroin muuntajan valintaa varten.

Jos potkurimoottorin teho on P_M on tällöin moottorivirta I_M on laskettavissa moottorijännitteen U_M ja staattorin hyötysuhteen η_s avulla yhtälön

$$I_M = \frac{P_M}{\sqrt{3} \cdot U_M \cdot \eta_s \cdot \cos \varphi} \quad (4.4)$$

mukaan. Suuntajan syöttövirran tehollisarvo saadaan I_M :n avulla yhtälöllä

$$I_s = \sqrt{\frac{1}{2\pi} 2 \frac{2\pi}{3} I_M^2} = \sqrt{\frac{2}{3}} I_M. \quad (4.5)$$

Lisäksi tiedetään, että syklokonvertterin anto- ja ottojännitteiden suhteet ovat syklokonvertterityypistä riippuen perinteisellä syklokonvertterilla 1570V/1000V ja NTY-syklokonvertterilla 1870/1200V. Suhde on siis noin 1,6. Staattorin hyötysuhde η_s on noin 0,95, saadaan muuntajan näennäistehon ja potkuriakselin pätötehon suhteeksi noin 1,8 seuraavan laskelman mukaan.

$$P_M = \sqrt{3} U_M \eta_s I_M \cdot \cos \varphi \quad (4.6)$$

Yhtälöstä (4.5) saadaan

$$I_M = \sqrt{\frac{3}{2}} I_s, \quad (4.7)$$

jolloin

$$P_M = \sqrt{3} U_M \eta_s \sqrt{\frac{3}{2}} I_s \cos \varphi = \frac{3}{\sqrt{2}} U_M \eta_s I_s \cos \varphi. \quad (4.8)$$

Kun nelikäämimuuntajan ensiön näennäisteho on

$$S_m = \sqrt{3} U_1 I_1, \quad (4.9)$$

ja yhden toision

$$S_{m2} = \frac{1}{3} S_m = \frac{1}{3} \sqrt{3} U_1 I_1 = \frac{1}{3} \sqrt{3} U_1 3 I_s \frac{U_2}{U_1} = \sqrt{3} U_2 I_s \quad (4.10)$$

Saadaan

$$I_s = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{S_{m2}}{U_2}. \quad (4.11)$$

Muuntajan ensiöteho on kolminkertainen, jolloin tehosuhteeksi saadaan yhtälöiden (4.8) ja (4.11) perusteella

$$P_M = \frac{3}{\sqrt{2}} U_M \eta_s \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{S_{m2}}{U_2} \cos \varphi = \frac{3}{\sqrt{2}} U_M \eta_s \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{\frac{S_m}{3}}{U_2} \cos \varphi \quad (4.12)$$

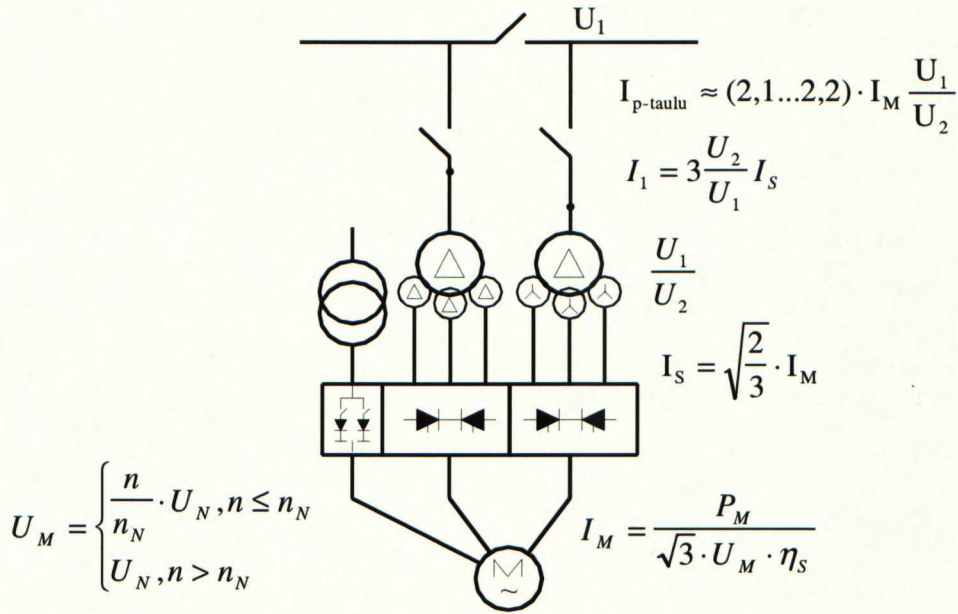
$$\Rightarrow P_M = \frac{1}{\sqrt{6}} \frac{U_M}{U_2} \eta_s S_m \cos \varphi \quad (4.13)$$

$$\Rightarrow \frac{S_m}{P_M} = \sqrt{6} \frac{U_2}{U_M} \frac{1}{\eta_s} \frac{1}{\cos \varphi} \quad (4.14)$$

Lukuarvoina

$$\frac{S_m}{P_M} = \sqrt{6} \cdot \frac{1}{1,6} \cdot \frac{1}{0,95} \cdot \frac{1}{1} = 1,6 \quad (4.15)$$

Kun tähän lisätään vielä varmuuskerroin 10% eli 1,1. Tällöin tehojen suhteeksi saadaan noin 1,8. /Lepo, 1998/



Kuva 4.2 Syklokonvertteriratkaisun virrat eri kohdissa

Välipiirisuuntaajan kuten ACS600, SAMI MegaStar ja PWM-tahtikoneoption muuntajan mitoitus tehdään seuraavan yhtälön avulla.

$$S_m = \frac{1,05 P_M}{\eta_s \cdot \eta_k \cdot k_1 \cdot \cos \varphi}, \quad (4.16)$$

missä S_m on muuntajan näennäisteho P_M on moottorin pätöteho, η_s on staattorin hyötysuhde, joka yleensä on välillä 0,95-0,96. Termi η_k on suuntaajan hyötysuhde, joka on välillä 0,98-0,99. Viimeinen termi $\cos \varphi$ on suuntaajan tehokerroin, joka diodisillalla on noin 0,95. PWM tahtikoneoption syöttösillalla (AFU) päästään perusaallon tehokertoimessa jopa 1,0:aan. Kerroin k_1 on muuttuja, joka kuvaa muuntajan yliaaltokestoisuutta. Kun muuntajan näennäisteho on alle 1500kVA on kerroin 0,9. Tehon kasvaessa tästä 2500kVA:n on kerroin 0,87 ja tätä suuremmissa muuntajissa kerroin k_1 on mitoitettu 0,85:ksi. Kerroin 1,05 on suuntaajan jännitteen alenemaa kuvaava kerroin. /Tarula, 1998/

Näin laskemalla muuntajan näennäistehon suhde potkurimoottorin tehoon $\frac{S_m}{P_M}$ on välipiirisuuntaajalla 1,3:n ja 1,4:n välillä. Myynnissä käytetään yleisesti termiä 1,35.

4.1.4 Välijännitesyklokonvertterin kommutointikuristimet

Välijännitesyklokonvertterissa kommutointikuristimen tarkoituksena on rajoittaa tyristoreiden kommutoitivirtojen $\frac{di}{dt}$ -arvoa lisäämällä verkon impedanssin arvoa. Välijännitesyklokonvertterin kuristin on mitoitettu kokemusperäisesti siten, että jännitteen arvo laskee 5% verkon jännitteestä. Kommutointikuristin asennetaan välijännitesyklokonvertterin syöttöön kuvan 4.3-mukaisesti.

Kommutointikuristimia käytetään sekä rauta- että ilmasydämisinä. Rautasydäminen kuristin on pienempi ja halvempi, mutta se ei rajoita eikä kestä oikosulkuvirtoja, sillä se kyllästyy. Näin ollen oikosulkuvirtojen takia voidaan joutua käyttämään muita komponentteja kuristimen yhteydessä. Esimerkiksi oikosulkuvirtoja rajoittavat pyrotekniset sulakkeet varaosineen vievät laivassa paljon tilaa ja ovat erittäin kalliita. Ilmasydäminen kuristin sitä vastoin rajoittaa oikosulkuvirtoja, jolloin voidaan säästää ainakin sulakkeissa.

Kuristimen fyysinen koko riippuu kuristintyyppin lisäksi laivan koko verkosta sekä sen vaatimuksista. Tähän vaikuttavat esimerkiksi induktanssin ja virran suuruus sekä jäähdytystarve. Tässä työssä kuristimen fyysistä kokoa sekä hintaa tullaan arvioimaan hyvin karkeasti, sillä kuristimen mitoitukseen vaikuttaa laivan koko sähkökäyttö potkurijärjestelmän ulkopuoliset komponentit mukaanlukien. mitoitukseen vaikuttaa esimerkiksi duplexreaktorin käyttö, jolloin kokonaisreaktanssi kasvaa, mutta toisaalta särötaso suuntaajan puoleisessa verkossa suurenee. /Virtanen, 1998//Lepo, 1998/

4.1.5 Suuntaaja

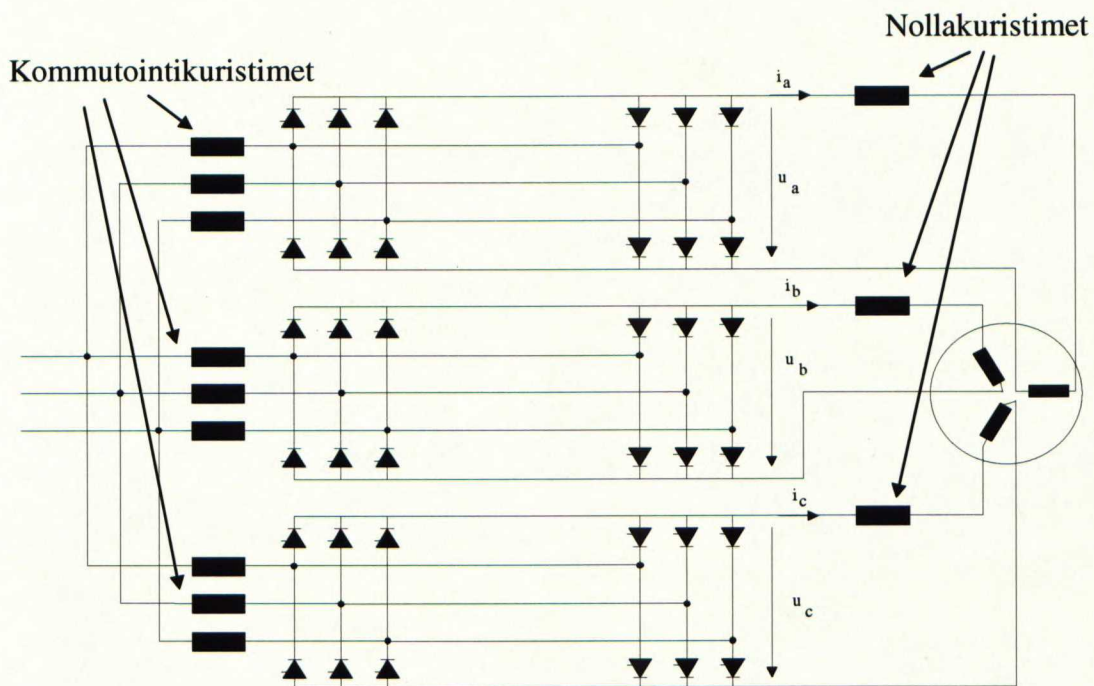
Suuntaajan valintaan vaikuttaa oleellisesti sen tehontarve. Pienillä tehoilla kannattaa valita virta- tai jännitevälipiirisuuntaaja, sillä syklokonvertterin suuri puolijohdemäärä ei ole tarpeellinen tehonsiirtoon. Kun teho kasvaa, joudutaan virta- tai jännitevälipiirisuuntaajia kytkemään sarjaan tai rinnan, jolloin syklokonvertteri tulee kilpailukykyisemmäksi. Syklokonvertterin puolijohteiden yksittäinen hintakin on edullisempi johtuen sen hitaasta, verkkotaajuisesta kytkentänopeudesta.

Toinen tärkeä seikka on moottorin nopeus. Kun nopeus kasvaa, pienenee myös moottori. Syklokonvertterin lähtötaajuus on pieni, mutta mekaanista vaihdetta käyttämällä tätä voidaan tarvittaessa kompensoida. Toisaalta laivan potkurikäytöissä syklokonvertterin nopeus on yleensä vähintäänkin riittävä. /Niiranen, 1992/

4.1.6 Nollakuristimet

Nollakuristinta käytetään välijännitesyklokonvertterissa. Välijännitesyklokonvertteria käsitellään tarkemmin luvussa 4.4.6.

Tahtikone muodostaa 3. harmonisen jänniteyiliaallon vaihejännitteeseen. Sen amplitudi riippuu sekä koneen käämityksestä että kuormasta. Nollajännitettä voidaan rajoittaa käämityksen suunnittelulla. Nollakuristimilla välijännitesyklokonvertterissa pyritään rajoittamaan moottorin nollavirtaa. Nyrkkisääntö on, että 0-virta on noin 1/3 moottorivirrasta eli termisestä virrasta. Nollavirta koostuu moottorissa siten, että kokonaistaajuus on noin kolminkertainen moottorin syöttötaajuuteen nähden. Nollavirran haitta on siinä, että se kyllästää moottorin rautapiiriä. Kokemuspäisest nollakuristin mitoitetaan noin moottori-induktanssin suuruiseksi. Nollakuristin asennetaan kuvan 4.3-mukaisesti moottorin ja suuntaajan väliin. /Virtanen, 1998//Lepo, 1998/



Kuva 4.3 Välijännitesyklokonvertteriin tarvitaan kommutointi- ja nollakuristimet.

4.1.7 Vaihderatkaisut

Sähköisen potkurijärjestelmän etu tahtikoneita käytettäessä on se, että mekaanisesta vaihteesta päästään eroon. Epätahtikoneita käytettäessä pienillä tehoilla saattaa olla tarpeellista käyttää mekaanista alennusvaihdetta moottorin ja potkurin välissä. Tämä johtuu siitä, että hidasnopeuksinen epätahtikone on suuri ja näin myös epätaloudellinen. Pienillä tehoilla on tällä konseptilla oleva käyttö kuitenkin laskettu olevan edullisempi kuin vastaava tahtikonekäyttö.

Valittaessa vaihteistoa käyttöön kannattaa varmistaa, että mekaaninen vaihde kestää sille aiotun rasituksen. Esimerkiksi DP-käytössä tyynellä ilmalla saattaa potkurin

suunta vaihtua hyvinkin usein. Tämä asettaa kovia vaatimuksia vaihteiston kestävyydelle. Joissain tapauksissa vaihteistoratkaisu ei ole oikea, vaikka ehkä tehoalueen puolesta siihen sopisikin. /Wilthil, 1996/

Mekaanista vaihdetta käytetäänkin usein ACS600- ja SAMI MegaStar-ohjatuissa epätahtimoottorikäyttöisissä potkurijärjestelmissä. Vaihderatkaisuja on vertikaalinen vaihderatkaisu ja horisontaalinen vaihderatkaisu. Nimensä mukaisesti horisontaalisessa vaihderatkaisussa potkuriakseli on samalla tasolla kuin moottoriakseli ja vertikaalisessa nämä akselit ovat eri tasolla.

Mikäli mekaanisessa vaihteessa on kaksi moottoriakselia ja vain yksi potkuriakseli, rakennetaan vaihde yleensä horisontaaliseksi. Tilan säästämiseksi yksisyöttöisessä vaihteessa käytetään usein vertikaaliratkaisua. /Pasanen, 1998/

4.2 Potkurimoottorit

4.2.1 Oikosulkukone ja tahtikone

Koneen hinta on verrannollinen sen momenttiin, joten halvin kone on samalla nopein ja pienin. Tosin konetta valittaessa on otettava huomioon myös mekaaninen kestävyys, jäähdytyksen tarve ja sen toteutus sekä häviöt. Pienessä koneessa jäähdytys on paljon vaikeampi järjestää kuin suuressa. Koneen nopeuteen voidaan vaikuttaa myös napapariluvun valinnalla, jonka suurentaminen kasvattaa konetta ja näin hinta lisääntyy. /Niiranen, 1992/

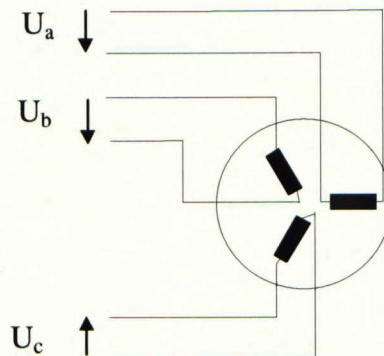
Tahtikoneen eräs etu verrattuna epätahtikoneeseen on sen suurempi ilmaväli. Tämä helpottaa koneen asennusta ja rakentamista. Rakenteensa vuoksi tahtikoneen roottoria on helpompi jäähdyttää ja koon noustessa epätahtikoneen valmistus vaikeutuu huomattavasti esimerkiksi ilmavälin pienuuden vuoksi.

Tahtikone voidaan magnetoida liukurenkailla tai harjattomalla magnetoinnilla esimerkiksi pyörivillä muuntajilla.

Tahtikone reagoi nopeasti muutoksiin. Erillismagnetoidun tahtikoneen tehokerroin, $\cos\phi=1$ ja hyötysuhde on yleisesti ottaen hieman parempi kuin epätahtikoneella. Tämä johtuu esimerkiksi siitä, että epätahtikoneen roottorin magnetointi syötetään kaikki staattorin kautta. Tämä lisää staattorin virtatiheyttä ja näin myös hyötysuhde I^2 -häviöiden takia pienenee. Tehon lisääntyessä joudutaankin epätahtikoneen pituutta kasvattamaan. Napapariluvun kasvattaminen epätahtikoneessa huonontaa $\cos\phi$:n arvoa. Epätahtikoneen valmistustekniikka on vaikeampi. $\cos\phi$:n parantamiseksi tulisi ilmaväli saada mahdollisimman pieneksi. Tämä on mekaanisesti vaikeaa toleranssien vuoksi. Toisaalta on muistettava, että tahtikoneeseen tarvitaan erillinen tilaa vievä magnetointilaitteisto. Tämä hankaloittaa huoltoa ja asennusta varsinkin Azipod-sovelluksissa.

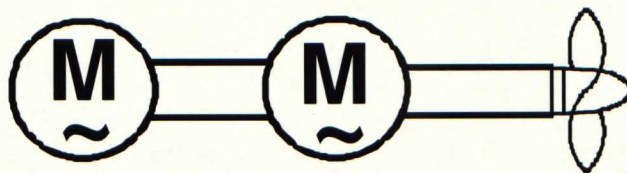
Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että samamomenttinen epätahtikone on aina suurempi ja kalliimpi kuin vastaava tahtikone. Rakenteensa vuoksi epätahtikone on kuitenkin edullisempi pienillä tehoilla. Rajana voidaan pitää noin 5 MW:n moottoritehoa.

Jännitetason noustessa sekä tahti- että epätahtikoneessa myös moottorin koko kasvaa eristyksen ja jänteistämistarpeen takia. Jänteistämistarpeen aiheuttaa kuvan 4.4 mukainen moottorin erilliskäämikytkentä. Tällöin halutaan poistaa kolmas yliaalto. Jänteistämisen myötä joudutaan edelleen kasvattamaan jännitetasoa ja näin ollen myös eristystä. /Mantere & Jaakkola, 1998/



Kuva 4.4 Välijännitesyklokonvertterissa on erilliskäämikytkentä, jolloin vaiheilla ei ole yhteistä tähtipistettä. Erilliskäämikytkennän huono puoli on se, että kolmas yliaalto ei kumoudu.

4.2.2 Moottorien sarjaankytkentä



Kuva 4.5 Moottorien sarjaankytkentää käytetään esimerkiksi silloin, kun yksipotkuriseen laivaan halutaan redundanttinen systeemi. Toinen tapa olisi tehdä yhteen moottoriin kaksoiskäämitys, joka ei ratkaisuna redundanssiltaan ole yhtä hyvä.

Mikäli yhdelle akselistolle ei saada tarpeeksi tehoa yhdellä moottorilla tai redundanssia halutaan parantaa, saatetaan käyttää moottorien mekaanista sarjaankytkentää. Tämä tarkoittaa sitä, että kaksi tai useampi moottori laitetaan peräkkäin samalle akselille.

Ratkaisu vie luonnollisesti huomattavasti tilaa, mutta erityisesti yksipotkurisissa laivoissa se on usein käytössä sen vuoksi, että redundanssikriteerin saavuttamiseksi,

joudutaan käyttö joka tapauksessa jakamaan vähintään kahteen erillisesti toimivaan osaan. Toinen ratkaisu olisi käyttää kaksikämmimoottoria. Tämä ei kuitenkaan ole oikosulkukoneilla edes teknisesti mahdollista. Tahtikonetta käytettäessä erilliskäämikytkentä on mahdollinen. Kyse on asiakkaan ja valmistajan arvostuskysymyksestä. Kaksikämmikoneen redundanssi kun on heikompi kuin kahden erillisen koneen, vaikka tilaa säästetäänkin. /Ijäs, 1998/

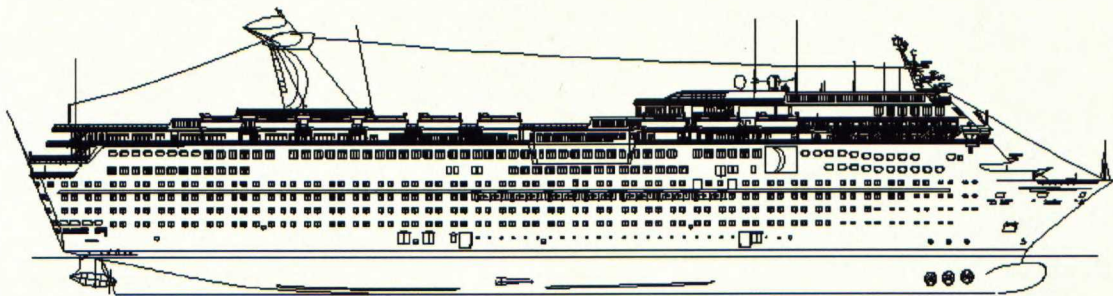
Esimerkiksi Azipodiin kahta moottoria ei saada edes mahtumaan. Azipod-yksikkö kasvaisi liian suureksi ja olisi sekä kömpelö että hydrodynamiikaltaan huono. Azipodeissa käytetäänkin usein kaksoiskäämitystä.

4.3 Azipod

4.3.1 Yleistä

Azipodin (**A**zimuthing **P**odded **D**rive) idea keksittiin jo 1980. Alunperin järjestelmä kehitettiin jäänmurtajia varten. Azipodilla saavutetaan korkea vääntömomentti, teho sekä hyvä sivuttaissuuntainen työntövoima, joka parantaa ohjailtavuutta. Sen avulla säästetään laivassa paljon tilaa. Pitkä potkuriakseli jää kokonaan pois, peräsin ja sen oheislaitteet käyvät tarpeettomaksi, peräohjausmoottoreita voidaan jättää pois ja koneiston sijoittelu on entistäkin vapaampaa.

Ohjailtavuus on Azipodilla aivan omaa luokkaansa. Kääntyvän ruoripotkurin ansiosta laiva voidaan kääntää pääpotkureiden avulla lähes paikallaan. Myös peruutettaessa laivan ohjailuominaisuuden ovat hyvät. Azipodilaivassa suunnanvaihto voidaan tehdä joko kääntämällä potkuri ympäri tai vaihtamalla sen pyörimissuuntaa. Mikäli Azipod-yksikkö käännetään peruutettaessa ympäri, voidaan peruutusteho nosta tavallisesta 60-80%-arvosta 100%:n.

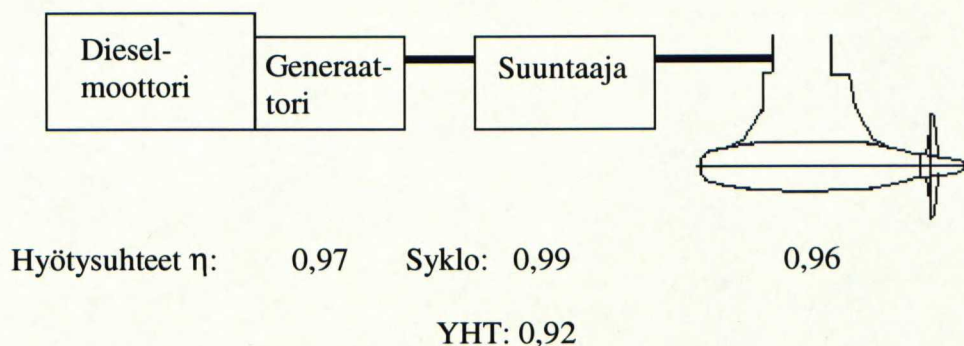


Kuva 4.6 Risteilyalus M/S Elation. Elationin perässä on kaksi vetotyyppistä 14MW:n Azipodyksikköä.

Koska potkuri moottoreineen sijaitsee rungon ulkopuolella olevassa erillisessä Azipod-yksikössä, ovat myös häiriöäänet pienempiä kuin perinteisessä potkurijärjestelmässä.

Azipod voidaan suunnitella laivaan joko veto- tai työntötyyppisenä. Esimerkkinä vetotyyppisestä Azipod-aluksesta on M/S Elation, joka on esitetty kuvassa 4.6.

Vetotyyppisen etu on se, että veden virtaus siihen saadaan tasaisemmaksi, jolloin hyötysuhde paranee. Azipodlaivan hydrodynaaminen hyötysuhde on hyvä verrattuna perinteiseen laivaan. Tämä johtuu siitä, että rungon muoto voidaan suunnitella optimaaliseksi ja lisäksi Azipod-yksikkö voidaan asentaa haluttuun kulmaan. Jopa 8% hydrodynaamisen hyötysuhteen parannuksia on mitattu. Jos siis verrataan samankokoista ja nopeuksista suoraa dieselmoottoroitua potkurijärjestelmää ja Azipod-potkurijärjestelmää toisiinsa, ovat niiden kokonaishyötysuhteet lähes samat. Azipod-järjestelmän hydrodynaaminen hyötysuhde on parempi, mutta tehohäviöitä tulee enemmän. Tehohäviöt syklojärjestelmässä ilmenevät kuvassa 4.7.



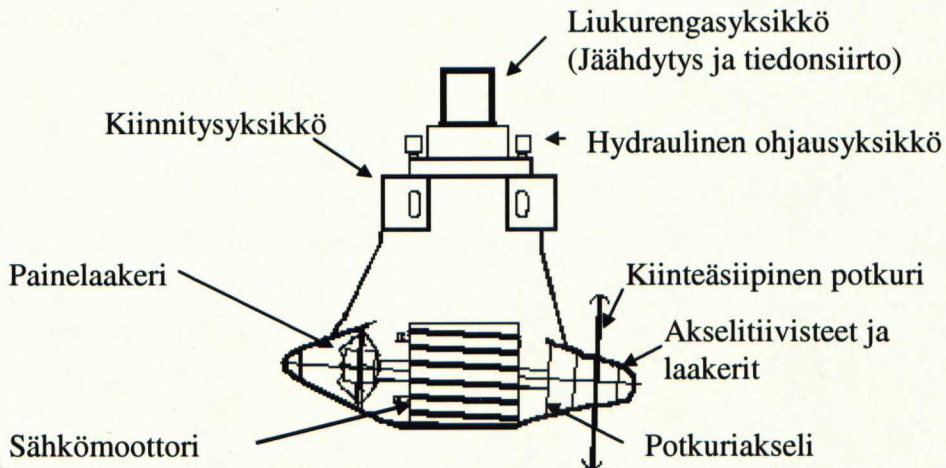
Kuva 4.7 *Syklokonvertterin avulla toimivan potkurijärjestelmän hyötysuhde on noin 92%.*

Azipod-ratkaisua kannattaa harkita, jos dieselsähköinen konsepti on havaittu laivatyyppille sopivaksi. Tällöin lasketaan hydrodynaaminen hyötysuhde ja jos se on vähintään yhtä hyvä kuin perinteisessä akselityyppisessä laivassa, on Azipod ratkaisu mahdollinen. Taloudelliset näkökohdat vaikuttavat lopullisen sähköisen konseptin valintaan. Yksi merkittävä siekka on myös se, että Azipodit voidaan asentaa laivaan myöhäisessä vaiheessa, vain 2-6 viikkoa ennen aluksen vesillelaskua. Tämä säästää sitoutunutta pääomaa laivaa rakennettaessa. /Nurmi, 1995//ABB Azipod Oy//Laukia, 1996//Niini, 1995//Wilhelmson, 1998/

4.3.2 Azipodin rakenne

Azipodin rakenne näkyy kuvassa 4.8. Azipodin valtti on luetettavuuden lisäksi sen yksinkertaisuus. Akselistojärjestelmään kuuluu vain potkuri, tiivisteet, laakerit ja akselistot. Teho sekä säätödata tuodaan Azipodiin liukurenkaiden tai joustavien kaapeleiden kautta. Ero näiden välillä on siinä, että joustavia laakereita käytettäessä Azipodia ei voida kääntää rajattomasti yhteen suuntaan. Liukurenkaista järjestelmään tulee häviölisä, joka kuitenkin on suhteellisen merkityksetön. Esimerkiksi Elationin yhdellä 14MW:n Azipodilla häviöteho on vain noin 1kW:n luokkaa. Jäähdytys toteutetaan Azipodissa ilmajäähdytyksen avulla. /Ijäs, 1998/

Azipodin hydrauliseen ohjausyksikköön kuuluu 2-4 hydraulista moottoria. Näiden avulla Azipodia voidaan kääntää vaakatasossa kaikkiin asentoihin 0-360°. Azipodin hyötysuhde on hyvä, sillä akseli on lyhyt ja siinä käytetään voideltuja kuulalaakereita. Hydrodynaaminen hyötysuhde paranee perinteiseen järjestelmään nähden myös siksi, että vastusta kasvattavaa peräsintä ja sen tukirakenteita ei tarvita. /Laukia, 1996//ABB Azipod Oy, 1998/



Kuva 4.8 Azipodin rakenne. Azipod-yksikkö liitetään laivaan kiinnitysyksikön avulla. Teho tuodaan liukurengasyksikön tai vastaavasti joustavien kaapeleiden kautta. Tiedonsiirto tapahtuu myös liukurengasyksikön kautta. Hydraulinen yksikkö kääntää Azipodia yleensä 2-4 hydraulisella moottorilla. Azipodissa on aina kiinteäsiipinen potkuri, sillä siipien kääntämlaitteisto veisi Azipodissa liikaa tilaa.

4.3.3 Azipod ja perinteinen akselijärjestelmä

Perinteisellä akselijärjestelmällä tarkoitetaan tässä diplomityössä järjestelmää, jossa laivan moottori sijaitsee laivan rungon sisällä. Kyse on siis käytöstä, jossa on pitkä potkuriakseli, jonka päässä ovat joko kiinteäsiipiset tai säätösiipiset potkurit. Etuna tässä ratkaisussa on pienillä tehoilla myös mahdollisuus käyttää mekaanista alennusvaihdetta.

Perinteinen akselijärjestelmä on ainoa mahdollisuus suorassa dieselkäytössä, jossa akselia pyöritetään suoraan dieselmoottorilla. Sähköinen potkurijärjestelmä sen sijaan mahdollistaa Azipodin käytön, mutta siinäkin Azipod ei välttämättä aina ole oikea ratkaisu. Azipodin huono puoli on sen alkuinvestoinnin suuruus. Joissain tapauksissa Azipod ei välttämättä tuo edes lisäarvoa alukselle. Esimerkiksi Ro-Ro aluksessa, jossa on vain yksi potkuri, voi lastin tilavuus jopa pienentyä, jos perinteisen akselijärjestelmän tilalle laitetaan Azipod. Tämä johtuu Azipod-yksikön pystysuuntaisesta tilavaatimuksesta.

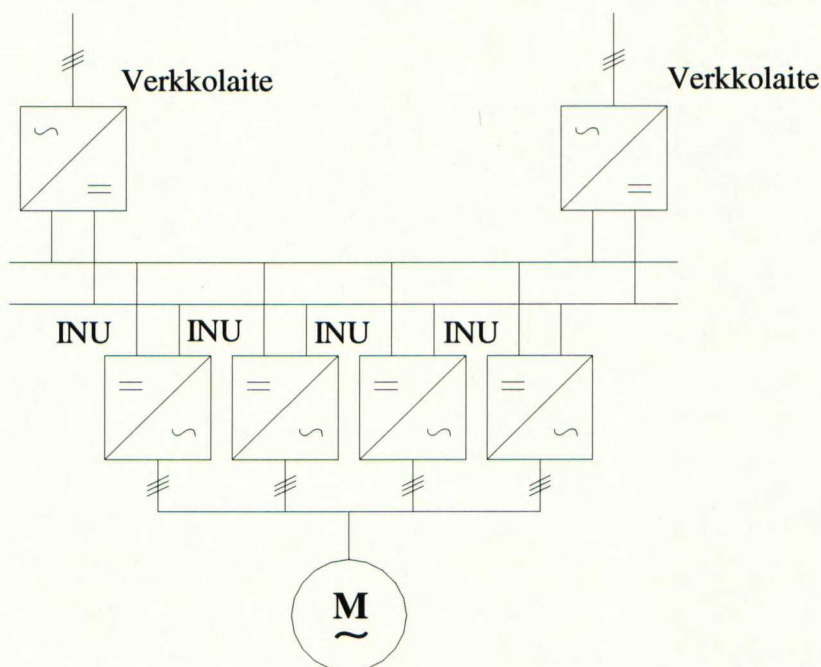
Ensin pitää tehdä taloudelliset laskelmat ja verrata saatua hyötyä alkuinvestointeihin. Tämän jälkeen voidaan vasta arvioida Azipodin hyödyllisyys. /Deltamarin, 1996/

4.4 Suuntaajatyypit

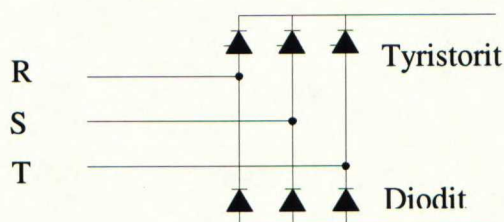
4.4.1 ACS600

ACS600 MultiDrive on taajuusmuuttajaratkaisu, joka on tarkoitettu oikosulkukoneille tehoalueilla 3-4300kW. ACS600 MultiDriven periaate on esitetty kuvassa 4.9.

Yhteistä DC-kiskostoa syötetään ACS600-MultiDrive-järjestelmässä yhden tai useamman verkkolaitteen avulla. Verkkolaitteet ovat kytketyt yhteiseen välipiirikiskostoon rinnan, jolloin tehoa voidaan kasvattaa lisäämällä sekä verkkolaitteiden kokoa että niiden määrää. Verkkolaitteen syöttöjännite on 690V. Verkkolaitteessa on joko diodisyöttöyksikkö (DSU) tai tyristorisyöttöyksikkö (TSU). ACS600:n diodisyöttöyksikön (kuva 4.10) erikoisuutena on se, että positiivisen kiskoston tasasuuntaukseen käytetään tyristoreita, jotta välipiirin kondensaattorit saadaan ladattua jännitteeseen ilman suurta virtapulssia. Jatkuvassa käytössä näitä tyristoreja käytetään nollaohjauskulmalla eli ikään kuin diodeina. Koska diodisillan ohjauskulma on nolla, on välipiirin jännite $\frac{3\sqrt{2}}{\pi} \cdot 690 \text{ V}$ eli noin 930V.



Kuva 4.9 ACS600-MultiDrive-käyttö toimii siten, että verkkolaitteet, joissa on 6-pulssinen diodisilta, syöttävät välipiiriä. Välipiiristä invertterit (INU) syöttävät moottoria DTC-teknologian (suoramomenttisäätö) avulla.



Kuva 4.10 ACS600 dioditasasuuntaussilta on 6-pulssinen, jossa positiivisten vaihtokytkimien kommutointiryhmässä käytetään tyristoreja.

Mikäli verkkolaitteita on laivassa useita, voidaan 6-pulssiratkaisun lisäksi käyttää 12-pulssista ratkaisua. 12-pulssisuus vaatii kuitenkin vähintään yhden muuntajan, jossa on kaksi toisiota, toinen kolmiokytkettynä, toinen tähtikytkettynä.

Taajuutta ohjataan DTC-ohjausperiaatteen avulla. Tämä tapahtuu IGBT-modulien (Integrated Gate Bipolar Transistor) avulla, joita on INU-yksiköissä. INU-yksikköjä voi olla rinnan useita, jolloin kokonaistehoa voidaan kasvattaa.

IGBT kytkee jännitettä positiivisen ja negatiivisen kiskon välillä. Jokainen kytkentä tehdään sähkökoneen sen hetkiseen magneettikenttään ja vääntömomenttiin perustuen. Magneettikenttä lasketaan mitattuun moottorivirtaan ja jännitteeseen perustuen 25µs välein. Nopean kytkennän ansiosta moottoriin ei aiheudu suurta värähtelyä ja vaste nopeutuu. DTC:n etu on se, että ei tarvita nopeuden takaisinkytkentää, sillä potkurikäytöissä tarkkuuden ei tarvitse olla kovin suurta.

Muita komponentteja ACS600 MultiDrivessa ovat ACU (Auxiliary Control Unit), ICU (Incoming Unit), säätöyksikkö sekä jarrukatkojyksikkö. ACU:n tehtävänä on tuottaa käyttöjännite kaikille lisälaitteille kuten tuulettimille, kontaktoreille ja releille. Myös hätäpysäytyksen signaali sekä jotkut lisäoptiot ovat tässä yksikössä. ICU:ssa sijaitsevat pääkytkin, sulakkeet sekä kontaktorit tai katkojat. Jarruysikkönä voidaan käyttää joko vastusjarrukatkojaa tai verkkoon jarrutusta. Verkkoon jarrutuksen edellytyksenä on luonnollisesti kokotyristorisilta syötössä. Laivakäytöissä kuitenkin verkkoon jarruttaminen ei välttämättä ole kannattavaa, joten yleisin vaihtoehto on jarruvastus, joka siis alentaa välipiirin jännitettä vastuksen avulla. Säätöyksikössä on APC2-yksikö (Application Controller), joiden avulla voidaan tarvittaessa ohjata neljästä kahdeksaan INU-yksikköä. /Hentunen, 1998/

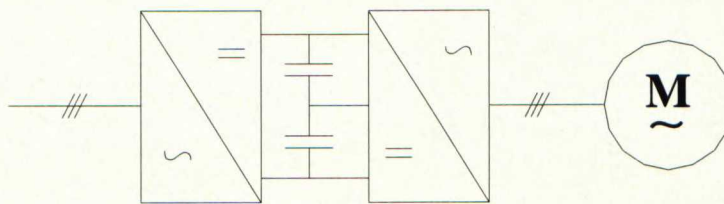
4.4.2 SAMI MegaStar

SAMI MegaStar-ratkaisua käytetään suurempitehoisissa oikosulkumoottorikäytöissä kuin ACS600-ratkaisua. SAMI MegaStarin syöttöjännite on 3300V, joten virta ei nouse niin suureksi kuin ACS600:n 690V syötöllä. Moottoritehot voivat olla 1600kW:n ja 8000kW:n välillä. Syötössä SAMI MegaStarissa on diodisilta ja invertteriyksikkö toimii PWM:n avulla. Suurin etu SAMI MegaStarissa verrattuna ACS600-ratkaisuun laivakäytön kannalta on tällä hetkellä se, että SAMI MegaStarissa on vesijäähdytys. SAMI MegaStaria myydään 6-, 12- ja 24-pulssisena. Tässä työssä käsitellään vain 6- ja 12-pulssiratkaisua. 24-pulssimuuntajat vievät

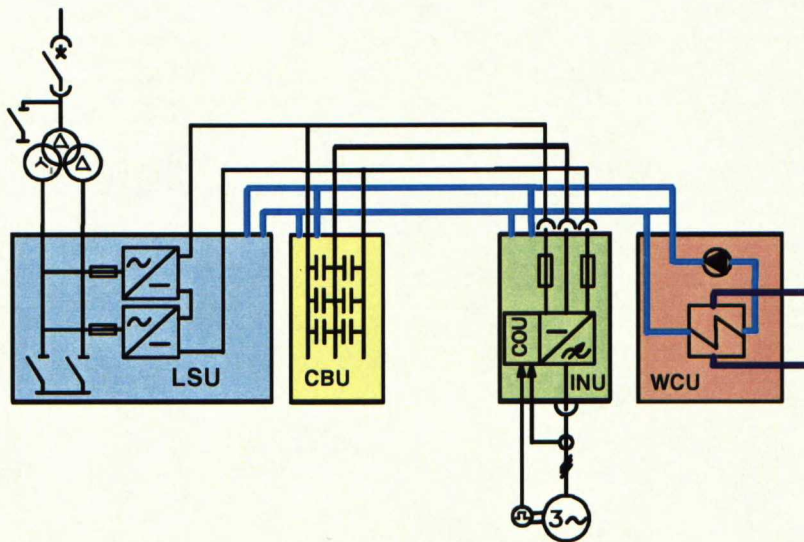
paljon tilaa, mutta jos särövaatimukset ovat kovat, kannattaa myös 24-pulssisuutta harkita.

Verkkoon jarrutus on myös mahdollista SAMI MegaStarissa. Tällöin diodisilta on korvattava kalliimmalla tyristorisillalla. Toisaalta verkkoon jarrutus ei ole kovin pitkäaikaista potkurikäytössä. Tässä työssä tutkitaan vain jarruvastus- ja diodisilta-vaihtoehtoa.

Kun käytetään 12-pulssista SAMI MegaStar-ratkaisua, täytyy järjestelmässä olla muuntaja ennen diodisiltaa. Kuvassa 4.12 näkyy myös SAMI MegaStarin rakenne. Kondensaattoreiden avulla välipiiri jaetaan kolmeen eri jännitetasoon, jolloin saadaan parempi jännitteen muoto. Nollatasossa ei tarvita erillistä sulaketta. Suurin ero 6-pulssiseen ratkaisuun, joka näkyy kuvassa 4.11, on tasoituskuristimen puuttuminen.



Kuva 4.11 6-pulssisessa SAMI MegaStar-ratkaisussa ei tarvita muuntajaa ennen diodisiltaa.



Kuva 4.12 12-pulssinen SAMI MegaStar, jossa on diodisilta, kondensaattoripatteri, invertteriyksikkö ja vesijäähdytys. Syöttö tulee kolmikäämimuuntajasta, jonka toisiot ovat kytketyt tähteen ja kolmioon.

LSU:ssa (Line Supply Unit) on diodilta, kaapeliliitännät, AC-sulakkeet sekä maadoituserotin. CBU on kondensaattoripatteri, jossa on välipiirikondensaattorit. CBU:n avulla välipiiri jaetaan kolmeen osaan. Kuvassa 4.12 ei näy TEU-yksikköä (Terminal Unit). TEU:n tarkoitus on hoitaa säätö, kytkentä sekä tietoliikenne SAMI MegaStariin. INU (Inverter Unit) kytkee PWM-ohjausperiaatteella (Pulse Width

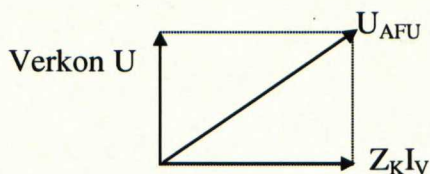
Modulation) jännitettä moottoriin. Kun moottoriteho on yli 4MW, kytketään INU-yksiköjä rinnan kaksinkertaiseen staattorikäämytykseen.

4.4.3 PWM-tahtikoneoptio

PWM-tahtikoneoptio on uusi tapa ohjata joko tahtikonetta tai perinteisesti oikosulkukonetta. Moottorin ohjauksessa käytetään DTC:tä. Tekniseltä ratkaisultaan PWM-tahtikoneoptio käy samoihin käyttöihin kuin SAMI MegaStar. Sen hinta on tehosuhteella SAMI MegaStarin luokkaa. Ensimmäiset PWM-tahtikoneoptiomodulit ovat 6 MVA:n ja 9 MVA:n suuruisia.

Tehon lisäys SAMI MegaStariin nähden on mahdollista uuden GTO-tyristorin vuoksi. Tämä tyristori on Integrated Gate Commutating Thyristor eli IGCT. IGCT:ssä ohjauspiiri on integroitu itse komponenttiin. Sen virtakestoisuus on suuri. Tosin myös sen koko on hieman suurempi kuin SAMI MegaStarilla, mikä tekee SAMI MegaStarin kaappiratkaisun käyttämisen mahdottomaksi.

Uutta PWM-tahtikoneoptiossa on AFU-takaisinsyöttö (Active Front end Unit). AFU on IGC-tyristorisilta, jota ohjataan PWM:n avulla. Tämän ratkaisun ansiosta $\cos\phi$ verkon puolella saadaan 1,0:ksi. Lisäksi IGC-tyristorisillan ansiosta tehoa voidaan myös syöttää verkkoon päin. Jännitteen käyrämuoto saadaan paremmaksi, esimerkiksi 6-pulssisella AFU:lla lähelle 12-pulssisen diodisiltaratkaisun arvoa. AFU-syöttösillan edessä joudutaan virtapiikkien välttämiseksi käyttämään reaktanssia eli suhteellista oikosulkuimpedanssia z_k . Tämän vuoksi jonkinlainen induktanssi kuten muuntaja tai kuristin on välttämätön tasasuuntaussillan edessä. Rajoituksena AFU-yksikön toiminnassa on tällä hetkellä jännitteen suuruus. Sen itseisarvo ei saa ylittää 3300V (kuva 4.13). Tästä syystä syöttöjännitteen arvoksi tutkimuksessa valitaan 3000V. Jännitteen yläraja voi muuttua, kun PWM-tahtikoneoptio myöhemmin muutetaan laivakäyttöille sopivammaksi. Muutoksessa myös mitat muuttuvat kuten myös paino ja hinnat, sillä laivakäyttöillä on eri vaatimukset kuin maakäyttöillä. PWM-tahtikoneoptio on vielä tuotekehitykseltään kesken, joten vertailussa muihin käyttöihin pitää tämä ottaa huomioon.



Kuva 4.13 AFU-jännitteen yläraja U_{AFU} ei saa ylittää 3300V. Tämä on huomioitava, sillä z_k :n arvo AFU:n edessä on särkeen rajoittamiseksi oltava korkea.

Laivakäytöissä vertaillaan diodisiltaa ja AFU-ratkaisua toisiinsa. AFU on kalliimpi, painavampi ja vie enemmän tilaa. Se vaatii myös suuremman impedanssin verkon puolelle. AFU:n avulla voidaan toteuttaa verkkojarrutus, jolloin säästytään ainakin osittain jarruvastuksilta. Tosin takatehoa ei voida syöttää laivan verkkoon

rajattomasti, sillä dieselmoottorin muuttuminen kompressoriksi aiheuttaa ongelmia. Dieselmoottori kykenee ottamaan takatehoa vain 8-10% nimellistehostaan.

PWM-tahtikoneoptioita voidaan kytkeä rinnan jopa kolme, jonka avulla päästään siis aina 27 MVA:han asti. Tosin täytyy muistaa, että rajoittavaksi tekijäksi 6-pulssiratkaisussa nousee päätaulun katkaisijoiden virtakestoisuus. Jos virtakestoisuus ylitetään, joudutaan muuntajia kytkemään ennen verkkoyksikköä päätaulun virran rajoittamiseksi. Siinä tapauksessa kannattaa käyttää vähintään 12-pulssista ratkaisua. On vielä epäselvää, kuinka monta PWM-tahtikoneyksikköä voidaan kytkeä laivaverkossa rinnan, mutta ylärajaksi tässä diplomityössä asetetaan kahden PWM-tahtikoneyksikön rinnankytkentä, josta siis saadaan maksimissaan 18MVA:n teho. /Pohjalainen, 1998//Lepo, 1998//Nurmi, 1996/

4.4.4 Syklokonvertteri ja sen valinta

Syklokonvertterin etuja laivakäytöissä ovat sen laaja tehoalue. Syklokonvertterien myyntiesitteet lupaavat standardisyklokonverttereille tehoalueen välillä 1,0 – 30 MW. Laivakäytöissä ongelmaksi muodostuu kuitenkin helposti virran suuruus. Tästä syystä suuritehoisissa käytöissä jännitetasoa tyyty nostaa. Tehoaluetta voidaan tyristoriteknikan kehittyessä nostaa nopeammin kuin PWM:ssä, sillä kytkemisnopeus on syklokonvertterin toimintaperiaatteen vuoksi huomattavasti hitaampi. Lisäksi syklokonvertterikäyttö on aina automaattisesti nelikvadranttinen. Taajuusmuuttajien tapaan syklokonvertteri on lähes häviötön. Sen hyötysuhde on jopa parempi kuin PWM taajuusmuuttajalla eli noin 99,5%. Syklokonvertteri on kooltaan pienempi ja sen kommutointi on ongelmaton.

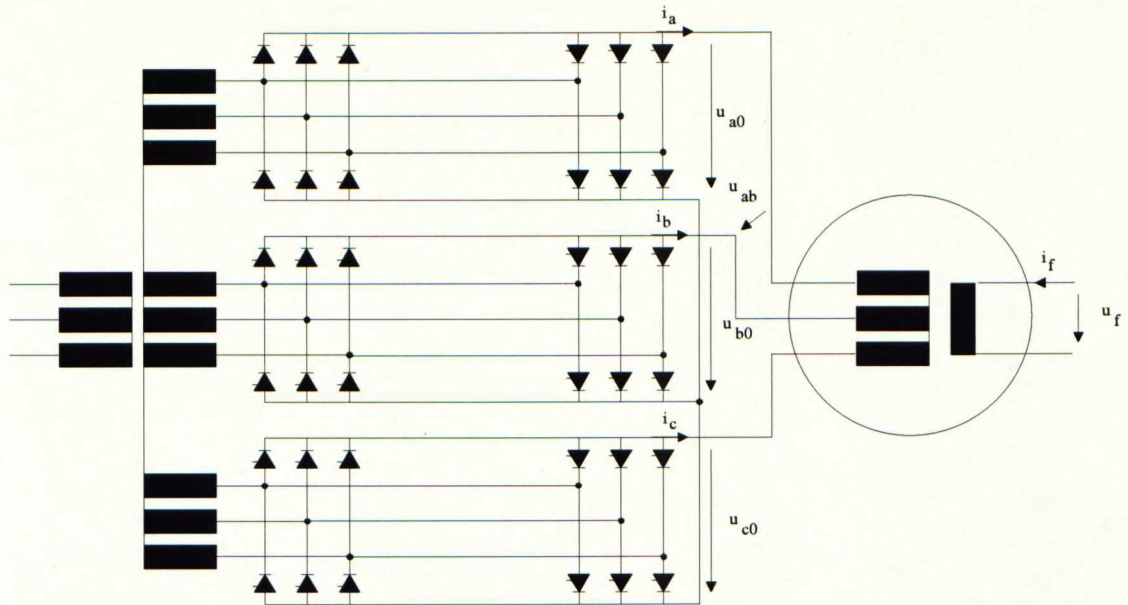
Syklokonvertteritekniikka on hyvin tunnettua. Syklokonvertterin rakenne on yksinkertaisempi kuin PWM:llä. Näiden ansiosta myös saatavuus sekä luotettavuus ovat korkeita. /ABB Oy, 1998/

Syklokonvertterin moottorin nopeus rajoittuu 60 Hz:n verkossa välille 0-24Hz, joka PWM:n verrattuna on vaatimaton. Toisaalta laivan pääpotkurijärjestelmälle tällä ei ole käytännössä merkitystä. Jo potkurin kavitointi asettaa rajoituksen potkurin nopeudelle.

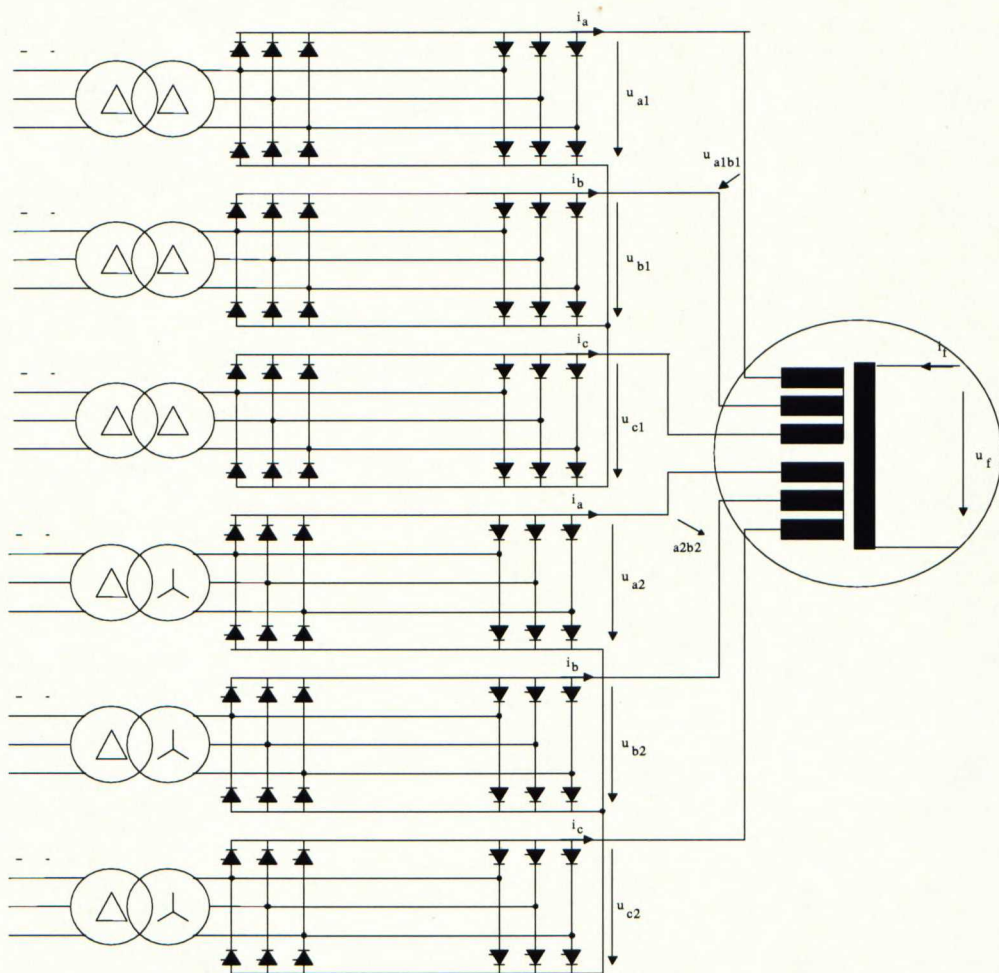
4.4.5 Muuntajakytkentäinen syklokonvertteri

Muuntajakytkentäisen syklokonvertterin haittana on sen muuntajien tarve. Muuntajia tarvitaan jokaista vaihetta varten. Toisaalta pulssiluvun kasvattaminen vaatii joka tapauksessa muuntajia ja sekä PWM-tahtikoneoptio että välijännitesyklokonvertteri vaativat syöttöön kuristimet, joten vertailu vaihtoehtojen välillä on tehtävä huolellisesti.

Kuvasta 4.14 ilmenee muuntajakytkentäisen syklokonvertterin rakenne. Kyseessä on 6-pulssinen perusratkaisu. Kuvassa 4.15 on vastaavasti 12-pulssinen perusratkaisu, jossa on käytetty kahta eri muuntajakytkentää. Dd- ja Dy-kytkennän avulla saadaan 30° vaihesiirto syklokonvertterien välillä, jolloin systeemistä tulee 12-pulssinen verkkoon päin.



Kuva 4.14 1x3-vaiheinen muuntajakytkeäinen syklokonvertteri.

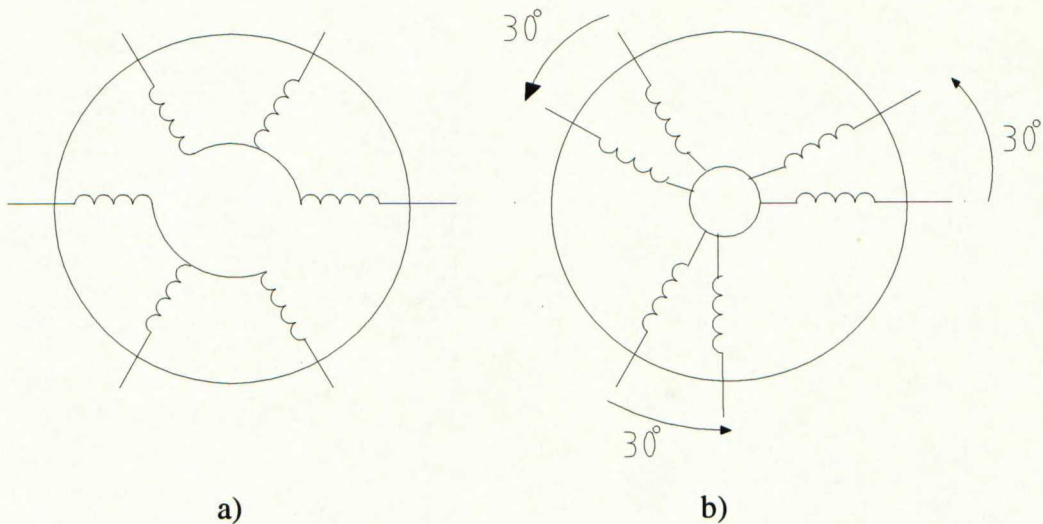


Kuva 4.15 Rinnankytketty 12-pulssinen syklokonvertteri. 12-pulssisuus on saatu aikaan kytkemällä muuntajat Dd- ja Dy-kytkennällä. Moottorissa on kaksoiskäämitys.

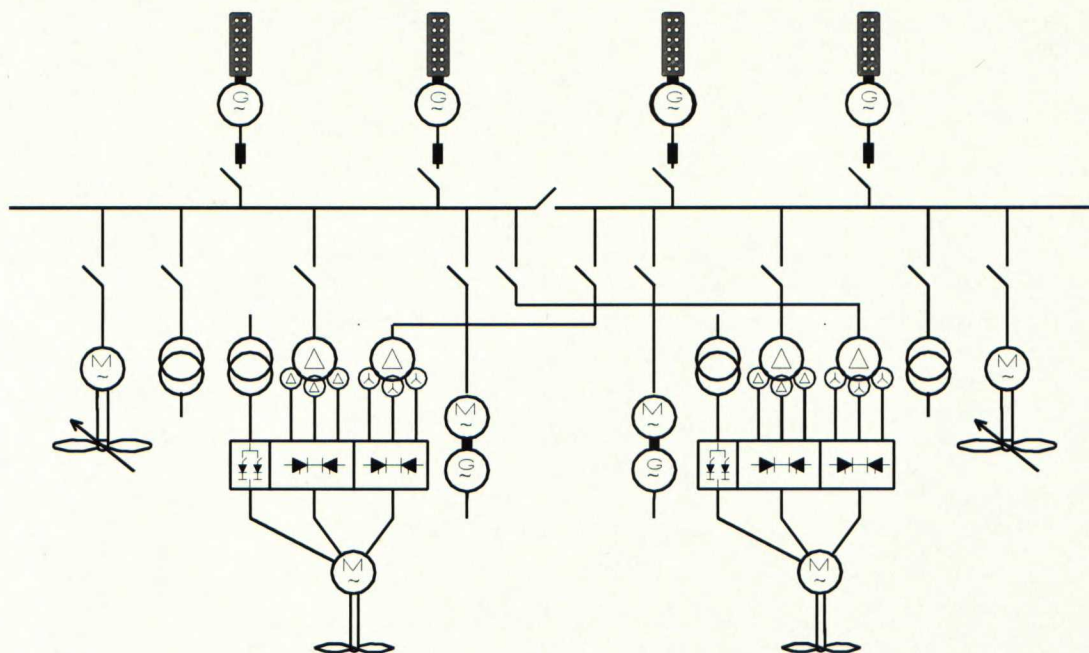
Sen sijaan, että kytkentä toteutettaisiin kuvan 4.15 mukaan, käytetään tulevaisuudessa nestejäähdytteisiä kolmivaihemuuntajia, jotka on kytketty nelikäämisesti. Nelikäämimuuntajassa on ensiö ja kolme toisiota. Esimerkki tällaisesta järjestelmästä on esitetty kuvassa 4.17.

Tehon kasvun, redundanssin kasvattamistarpeen sekä pulssiluvun nostamistarpeen takia muuntajakytkentäiset syklokonvertterit tehdään usein 12-pulssisena. Jos rinnankytketyssä 12-pulssisessa syklokonvertterissa käytetään vain yhtä moottoria tulee siinä silloin olla kaksoiskäämitys. Perinteinen 0° vaihesiirrolla olevan moottorin käämikytkentä näkyy kuvassa 4.16a. Tämän kytkennän huono puoli on se, että jos toinen syklokonvertteri vioittuu ja putoaa pois käytöstä, on moottorin käyminen varsin epätasaista.

Valmistustekniikan kehittyä on laivakäytöissä siirrytty limittäin kytketyn kaksoiskäämityksen käyttöön. Tämä limikäämitys kytketään kuvan 4.16b mukaisesti 30° kulmaan toisiinsa nähden. Tämä tehdään, jotta vääntömomentti olisi mahdollisimman tasainen. Täten kytketty järjestelmä on 12-pulssinen. Tällöin saadaan kytkettyä jännitettä tasaisesti 30° välein ja samalla syklokonvertterin toisen puolen hajotessa saadaan suuntavektori silti 60° välein kytketyksi. /Fabro, Mantere, 1993/



Kuva 4.16 Kaksoiskäämityksiä. Vasemmalla oleva kaksoiskäämitys (a) kytketään koneeseen erillisesti molemmin puolin. Oikealla näkyvä limikäämitys (b) kytketään siten, että käämitykset ovat koneessa 30° välein. Oikealla näkyvää käämitystä käytetään muuntajakytkentäisissä syklokonvertteriratkaisuissa.



Kuva 4.17 12-pulssisen muuntajakytkentäisen syklokonvertteriratkaisun pääpiirikaavio. Neljällä generatorilla syötetään päätaulua. Päätaulu jaetaan kiskokatkaisijan avulla kahteen itsenäiseen yksikköön, jolloin vikatilanteessa molemmat potkurimoottorit ovat vielä käytössä ja saadaan mahdollisimman redundanttinen järjestelmä puolella sykломäärällä. Mukaan on piirretty myös ohjauksessa käytettävät trusteri- eli ohjausmoottorit. Trusterimoottorit toimivat vakionopeudella. Niiden vääntömomenttia muutetaan säätösiipisen potkurin avulla. Mukana on lisäksi hotellijärjestelmän muuntajat sekä magnetointimuuntajat.

4.4.6 Välijännitesyklokonvertteriratkaisu

Välijännitesyklokonvertteri, joka on esitetty jo aiemmin kappaleessa 4.1.6 kuvassa 4.3, on tarkoitettu suurimpiin tehoihin. Välijännitesyklokonvertterin kaappikoko on suhteellisen suuri. Siitä syystä jo tilan säästämiseksi pyritään käyttämään vähemmän tilaa vieviä kuristimia syöttöpuolella. Muuntajan poisjättäminen kuitenkin edellyttää erilliskäämikytkentää moottoripuolella. Erilliskäämikytkennän vuoksi joudutaan syntyvää nollavirtaa rajoittamaan. Tähän tarkoitukseen käytetään nollakuristimia moottorin ja syklokonvertterin välissä.

Selvä heikkous välijännitesyklokonvertterissa on, että muuntajien puuttumisen vuoksi se voi olla ainoastaan 6-pulssinen. Tämä lisää tarvetta harmoonisten yliaaltojen suodatuksen. Lisäksi päätaulun jännitteen nostamisen myötä muuntajakytkentäisellä syklokonvertterilla päästään suurempiin tehoihin kuin välijännitesyklokonverttereilla. Lisäksi välijännitesyklokonvertteriyksikkö on suhteellisen kallis. /Lehtelä, 1998/

5 Potkurijärjestelmän valinta

5.1 Mitoituskriteerejä

Laivan potkurijärjestelmä on kokonaisuus, johon vaikuttaa monet tekijät. Teknistä konseptia valittaessa on telakan, tilaajan ja luokituslaitosten vaatimukset otettava huomioon. Laivan potkurijärjestelmään vaikuttaa esimerkiksi potkurien lukumäärä ja nopeus, laivan käyttötarkoitus, kulkunopeus ja tehontarve. Sähköisiä kriteerejä ovat esimerkiksi tehokertoimen suuruus ja särötaso. Laivan käyttöympäristö on myös huomioitava. Esimerkiksi jäissäkulku asettaa järjestelmälle omat vaatimuksensa.

Myös laivatyypin vaikutus potkurijärjestelmän valintaan. Laivatyypissä on tyypillisesti joko yksi tai kaksi potkuria, vaikka tarkkaa sääntöä ei voidakaan tehdä. Myös laivan rungon muoto vaihtelee laivatyypeittäin. Eräs tärkeä seikka on myös hotellijärjestelmän ja oheislaitteiden osuus tehonkäytöstä. Jos tämä on suuri, voidaan takatehoa syöttää helpommin takaisin verkkoon. Toisaalta suuri hotellijärjestelmä suurentaa esimerkiksi päätaulun mitoitusarvoa.

5.2 Komponenttien tilan, painon ja hinnan arviointi

Seuraavassa selostetaan tutkimus, joka on tehty oikean potkurijärjestelmän valitsemiseksi laivatyypin ja potkuritehon funktiona. Käytöt on tehty mahdollisimman yksinkertaisiksi ja helposti keskenään verrattaviksi.

Ensimmäinen muuttuja on järjestelmän tilan käyttö, jota kutsutaan yleisesti tilavuudeksi. Toinen tutkittava muuttuja on järjestelmän paino. Kolmanneksi tutkitaan hintaa. Hinta on merkitty suhteellisenä ja sitä kutsutaan tässä hintaindeksiksi.

Tutkimus on tehty diplomityössä käytettävien resurssien, jotka ovat täysin riittämättömät tarkan tuloksen saavuttamiseksi. Tulokset ovat kuitenkin suuntaa-antavia ja toteuttamalla tutkimus laajempaan projektina, voidaan saada hyviäkin tuloksia. Toisaalta on muistettava, että lopullista teknistä konseptia ei ole mahdollista esittää kovin pelkistettynä, sillä muuttujia on aivan liikaa. Myynnin ja suunnittelun yhteistoiminta on kuitenkin ensiarvoisen tärkeää, joten jonkinlainen arvio on silti järkevä esittää.

5.2.1 Suuntaaja

Lähtökohdaksi tässä tutkimuksessa on otettu suuntaaja. Vaihtoehtoja käsitellään kaikkiaan kuusi: ACS600, SAMI MegaStar, PWM-tahtikoneoptio, kaksi erilaista muuntajakytkentäistä syklokonvertteria sekä välijännitesyklokonvertteri.

ACS600, SAMI MegaStar sekä PWM-tahtikoneoptio voivat ohjata epätahtikonetta. ACS600 on tarkoitettu pienijännitteisenä pienimmille tehoille, SAMI MegaStar on teholuokassa seuraava. PWM-tahtikoneoptiota ei tässä työssä tutkita epätahtikone-

käyttönä, vaikka se siihen pystyykin. Tahtikonesuuntaajia ovat PWM-tahtikoneoptio, kaksi eri muuntajakytkentäistä syklokonvertteria sekä välijännitesyklokonvertteri.

Suuntaajan valintaan vaikuttaa moottorin teho. Epätahtikoneen tehokerroin $\cos\varphi$ arvioidaan olevan noin 0,85. Tahtikoneella $\cos\varphi$ on noin 1. Moottorin hyötysuhde η_s on noin 95% ja otetaan vielä 10% varmuusvara, jota merkitään Δ_V :n avulla antamalla sille arvoksi 0,9. Näiden tietojen avulla saadaan moottoritehoksi invertterin näennäistehon funktiona

$$P_M = S_s \cdot \cos\varphi \cdot \eta_s \cdot \Delta_V \quad (5.1)$$

Eli invertterin näennäisteho

$$S_s = \frac{P_M}{\cos\varphi \cdot \eta_s \cdot \Delta_V} \quad (5.2)$$

Epätahtikonekäyttöille eli ACS600:lla ja SAMI MegaStarilla pätee, että

$$P_M = S_s \cdot 0,85 \cdot 0,95 \cdot 0,9 \approx 0,73 \cdot S_s \Rightarrow S_s = \frac{P_M}{0,73} \quad (5.3)$$

Tahtikoneilla eli PWM-tahtikoneoptiolla ja syklokonverttereilla vastaavasti

$$P_M = S_s \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 0,9 \approx 0,86 \cdot S_s \Rightarrow S_s = \frac{P_M}{0,86} \quad (5.4)$$

Suuntaajan tasasuuntausosan tehokerroin on diodisillalla noin 0,95. Tällä laskettuna siis välipiirisuuntaajan syöttöosan mitoitusarvo hieman kasvaa. Arvioinnissa käytetään kuitenkin samaa tehoa sekä syöttöosassa että invertteriosassa.

Kun tarvittava potkuriteho tiedetään, valitaan suuntaajayksikkö siten, että suuntaajan näennäisteho on vähintään yhtälön (5.3) tai (5.4) suuruinen.

5.2.2 Generaattori

Generaattorissa tässä tutkimuksessa kiinnostaa lähinnä sen suhteellinen pitkittäinen alkureaktanssi x_d'' . Generaattoreita oletetaan tässä tutkimuksessa olevan aina neljä kappeletta. Generaattorien yhteisnäennäisteho $\sum S_G$ määritellään laivatyypeittäin suuntaajatehon funktiona. Generaattoriteho riippuu potkurijärjestelmän lisäksi potkurijärjestelmän ulkopuolisesta tehosta. Tätä varten arvioidaan laivatyyppille tyypillinen kokemusperäinen kerroin, jonka avulla generaattorien näennäistehoa arvioidaan. Kun syklokonvertterikäyttöisen laivatyyppin generaattorien näennäisteho tiedetään, muodostetaan yleinen yhtälö myös muille käytöille tehokertoimen $\cos\varphi$ avulla. Saadaan yhtälö

$$\sum S_G = \frac{1}{\eta_G} \frac{0,75}{\cos \varphi} \cdot \frac{\sum S'_G}{\sum P'_M} \cdot \sum S_s. \quad (5.5)$$

Tässä η_G on generaattorin hyötysuhde eli noin 0,95. Syklokonvertterin tehokerroin syötössä on mitoitetaan 0,75:n mukaan, jota verrataan kulloisenkin suuntaajan ja verkon vaatimaan mitoitustehokertoimeen $\cos \varphi$, jotta generaattorien näennäistehoa voitaisiin arvioida suuntaajien näennäistehon funktiona. ACS600-, SAMI MegaStar- ja PWM-tahtikoneoptiokäytöissä suuntaajan syötön tehokerroin on huomattavasti parempi kuin syklokonvertterilla. Laivan muun verkon tehokerroin on kuitenkin yleensä huonompi, josta seuraa, että verkon tehokerroin tässä tutkimuksessa on

arvioitu olevan maksimissaan 0,85. Suhde $\frac{\sum S'_G}{\sum P'_M}$ on laivatyypikohtainen kerroin.

Tämä arvo on kokemuseräinen ja kuvaa generaattorien näennäistehon suhdetta potkuritehoon syklokonvertterisovelluksessa. Tämä termi toisin sanoen arvioi hotellikuorman osuutta siten, että suuri hotellikuorma kasvattaa suhdetta. Summa $\sum S_s$ on suuntaajien näennäistehojen summa, joka on siis muuttujana. Kun generaattoreita on neljä kappaletta, on yhden generaattorin teho tällöin $\frac{\sum S_G}{4}$ olettaen, että jokainen generaattori on yhtä suuri.

Generaattorien virtaan I_G vaikuttaa päätaulun jännite $U_{p\text{-taulu}}$.

$$I_G = \frac{S_G}{\sqrt{3} \cdot U_{p\text{-taulu}}} \quad (5.6)$$

Generaattorin suhteellinen pitkittäisen alkureaktanssin x_d'' arvo on yleensä 0,1:n ja 0,2:n välillä. Sitä arvioidaan niin, että oikosulkuvirta ei ylitä katkaisijoiden katkaisukykyä. /Liljeström, 1998/

5.2.3 Moottori

Moottoriteho suuntaajatehon funktiona laskettiin jo suuntaajaa laskettaessa. Itse moottoriteho määräytyy vaadittavasta potkuritehosta.

Moottorivirta lasketaan jännitevälipiirisuuntaajassa moottoritehon P_M ja päätaulun jännitteen $U_{p\text{-taulu}}$ -funktiona

$$I_M = \frac{P_M}{\sqrt{3} \cdot (1 - \Delta V) \cdot \cos \varphi \cdot \eta_s \cdot \frac{U_{p\text{-taulu}}}{\mu}} \quad (5.7)$$

Tässä suuntaajan välipiirin jännitteen alenema on ΔV eli noin 5%, $\cos \varphi$ on moottorin tehokerroin, joka oikosulkumoottorissa on noin 0,85, mutta tahtikoneella se on 1.

Termi η_s on moottorin hyötysuhde ja on noin 0,95. Viimeinen termi μ on muuntajan muuntosuhde

$$\mu = \frac{U_1}{U_2}, \quad (5.8)$$

jossa U_1 on muuntajan ensiökäämin ja U_2 on toisiokäämin jännite.

Syklokonvertterilla moottorivirta lasketaan taulukossa suoraan

$$I_M = \frac{P_M}{\sqrt{3} \cdot U_M} \quad (5.9)$$

Yhtälössä pitäisi ottaa vielä huomioon moottorin hyötysuhde jakamalla se vielä η_s :llä. Termi vaikuttaa jonkin verran mitoittamiseen, mutta tarkkuuden rajoissa hyötysuhteen huomiotta jättämisellä ei ole paljoa merkitystä. Tarkemmissa tutkimuksissa tämä pitää huomioida luvun 4.1.3-tapaisesti.

Syklokonverttereita on kahdenlaisia. Muuntajakytkentäisessä syklokonvertterissa U_M on niin sanotussa perinteisessä mallissa 1570V, uudentyyppisessä NTY-syklossa U_M on 1870V. Välijännitesyklokonvertterissa U_M on 9000V.

5.2.4 Päätaulu

Päätauluvertailussa käytetään MHS-pienjännitepäätaulua ja välijännitepäätaulua. Päätaulujen tiedot ovat liitteen 2 taulukoissa L2.1 ja L2.2 MHS-pienjännitepäätaulus-
sa jännite on 690V. Muissa tapauksissa tässä diplomityössä jännite on maksimissaan 6600V.

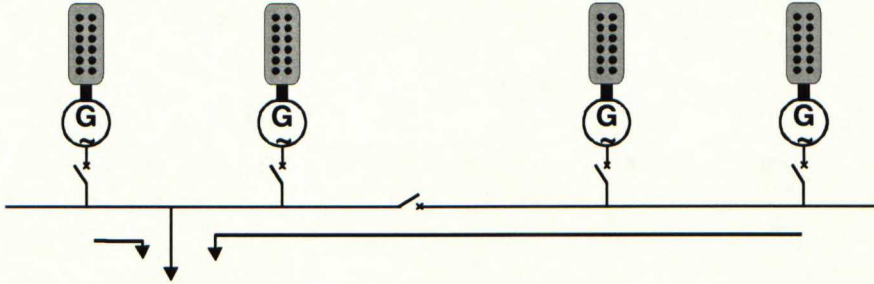
Potkurimoottorin aiheuttama virta päätaulussa I_{pM} lasketaan muuntajan muuntosuhteen μ avulla

$$I_{pM} = \frac{I_M}{\mu}. \quad (5.10)$$

Kun hotellijärjestelmän osuus käytöistä on pienempi kuin potkurimoottorien osuus, on I_{pM} kriittinen komponentti, jonka arvo ei saa tarkasteltavilla päätaulutyypeillä ylittää 2500A.

Generaattorien sijoittelu päätaulussa vaikuttaa oleellisesti päätaulussa olevan virran maksimiarvoon kuvan 5.1-tapaan. Merkitään $\sum S_G$:llä generaattorien yhteistehoa ja $U_{p\text{-taulu}}$:lla päätaulun jännitettä. Oletetaan, että syötettävä kohde sijoitetaan kuvan 5.1-mukaisesti generaattorien väliin siten, että kohde sijaitsee yhden generaattorin syötön ja kolmen generaattorin syötön summan välissä. Virran maksimiarvoa arvioidaan generaattoritehon summasta kertoimella $\frac{3}{4}$, sillä suurimman virran aiheuttavat kolme generaattoria. Yhden generaattorin virta tulee toisesta osaa päätaulua ja ei siten vaikuta maksimivirtaan. Tällöin maksimivirta lasketaan yhtälöllä

$$I_{\max} = \frac{3}{4} \cdot \frac{\sum S_G}{\sqrt{3} \cdot U_{p\text{-taulu}}} \quad (5.11)$$



Kuva 5.1 Jos generaattoreita on neljä kappaletta ja yksittäinen kenttä on nuolen osoittamassa paikassa, kuormitetaan päätaulua $\frac{3}{4}$ -generaattoreiden tehosta.

Yhtälöllä (5.11) on merkitystä vasta sitten, jos hotellijärjestelmän teho kasvaa suuremmaksi kuin potkuriteho.

Hotellijärjestelmä ja muu laitteisto laivassa lisää mitoitusarvetta päätauluun. Virran lisämitoitustarvetta voidaan tarvittaessa verrata samalla periaatteella kuin yhtälössä (5.5) syklokonvertterin tehokertoimeen ja kokemusperäiseen kertoimeen. Teoreettinen päätaulun virta saadaan tällöin yhtälöllä

$$I_{p, \text{teor}} = \frac{0,75}{\cos \varphi} \cdot \frac{\sum S'_G}{\sum P'_M} \cdot I_{pM} \quad (5.12)$$

Tässä $\cos \varphi$ on verrattavan suuntaajakäytön päätaulun tehokerroin. Suhde $\frac{\sum S'_G}{\sum P'_M}$ on yhtälön (5.5) mukainen ja I_{pM} on potkurimoottorin aiheuttama virta päätaulussa yhtälön (5.10) mukaan. Virta on siis arvioitu päätaulun maksimivirta, mikäli kaikki generaattoriteho syötettäisiin samaan pisteeseen. Päätaulun kenttien sijoittelulla tätä virtaa voidaan pienentää.

Muita kriteerejä päätaululle on esimerkiksi terminen oikosulkuvirta. Se lasketaan yhtälöstä

$$I_k = \frac{\sum S_G}{\sqrt{3} \cdot x_d'' \cdot U_{p\text{-taulu}}} \quad (5.13)$$

Tässä suhteellisen pitkittäisen alkureaktanssin x_d'' oletetaan olevan jokaisella generaattorilla sama.

Dynaaminen oikosulkuvirta on yleensä noin 2,5 kertaa terminen oikosulkuvirta. Sen suuruus pitää myös tarkistaa. Tässä työssä sitä ei kuitenkaan tarkisteta, sillä dynaaminen oikosulkuvirta riippuu verkon koko impedanssista.

Päätaulun kokoon, hintaan ja painoon liittyy kenttien lukumäärä. Generaattorikenttiä on tässä työssä aina neljä. Suuntaajalähtöjä eli päätaulun moottorille lähtevien kenttien lukumäärä on kaksi. Lisäksi molemmista päätaulun puoliskoista lähtee ristiinkytkentä suuntaajalähtöihin siten, että jos puolikas päätaulusta on pois käytöstä, saadaan puolikkaasta päätaulusta silti tehoa molempiin potkureihin. Päätaulu jaetaan kaikissa vertailutapauksissa kiskokatkaisijalla kahteen osaan, jolloin päätaulun jakokenttiä on yksi kappale. Magnetointi voitaisiin ottaa suoraan päätaulusta muuntajan välityksellä, mutta usein magnetointi otetaan alajänniteverkosta. Muita kenttiä kuin katkaisijakenttiä päätaulussa ovat mittauskentät. Jokaista itsenäisesti toimivaa päätaulun osaa varten pitää olla vähintään yksi mittauskenttäkaappi. Mittauskenttiä on kaksi, sillä päätaulu on jaettu kahteen osaan. Muita päätaulun lähtöjä ovat hotellimuuntajat ja moottorigeneraattorilähdöt. Vertailun helpottamiseksi näille molemmille on arvioitu kaksi lähtöä. Tämä on varsinkin hotellimuuntajille varsin pieni luku, mutta arvioinnissa korostetaan tällä tavalla vain muun kuorman vaikutusta päätaulun kenttien lukumäärään.

Päätaulukentän kokoon vaikuttaa sen virran suuruus. Pienjännitepäätaulussa pienillä virroilla katkaisijakenttiä voidaan asentaa samaan kaappiin useita, joka pienentää kaapiston kokoa. Pienillä virroilla myös välijännitepäätaulun kentän koko on hieman pienempi kuin suurilla virroilla.

Termisen oikosulkuvirran maksimiarvo pienjännitepäätaulussa ABB SACE F1S-katkaisijalla on 45kA. Dynaamisen oikosulkuvirran maksimiarvo on 120kA. Välijännitepäätaululla SF6-katkaisijalla termisen oikosulkuvirran suurin arvo normaalisti on 25kA, mutta kalliimmalla katkaisijaratkaisulla sen maksimiarvo on 40kA:n.

5.2.5 Muuntaja

Muuntajan koko-, hinta- ja painovertailussa on käytetty vain muutamaa vertailumuuntajaa. Tarkan vertailun tekemiseksi tämä tapa on luonnollisesti täysin riittämätön, sillä virhemarginaali kasvaa aivan liian suureksi. Käytettävissä olevilla tiedoilla tehdään seuraavassa esitettävä karkea arviointi.

5.2.5.1 Muuntajakytkentäisen syklokonvertterin muuntajat

Muuntajakytkentäiseen syklokonvertteriin saatiin valmistajalta liitteen 3 taulukon L3.1 muuntajatarjoukset.

Taulukosta L3.1 nähdään, että vaikka tehon noustessa tilavuus ja paino nousevat pääsääntöisesti, ei se kuitenkaan kaikissa tilanteissa päde. Tämä johtuu siitä, että muuntajat suunnitellaan erikseen kutakin käyttöä varten. Muuntajan muotoilu vaikuttaa tilavuuteen ja painoon. Valmistajalta saadut muuntajatarjoukset ovat esitettyjä tarjouksia vanhoihin projekteihin. Projektit eroavat jonkin verran toisistaan, joten pätevään vertailuun pitäisi kukin muuntaja mitoittaa samanlaiseen käyttöön.

Näiden arvojen perusteella lasketaan arvio muuntajan tilavuudelle, painolle ja hinnalle moottoritehon funktiona. Potkurin pätötehon P_M ja muuntajan näennäistehon S_m välinen yhteys on esitetty tarkemmin luvussa 4.1.3.

$$S_m = k \cdot P_M \quad (5.14)$$

Syklokonvertterilla kerroin k on noin 1,8, kun se PWM-suuntaajilla on välillä 1,3-1,4.

Jos m' on arvioitavan muuntajan massa, m saadun tarjouksen muuntajan massa, S' arvioitavan muuntajan näennäisteho ja S saadun tarjouksen muuntajan näennäisteho, saadaan muuntajille arvioitua massat yhtälön

$$m' = m \cdot \left(\frac{S'}{S} \right)^{\frac{3}{4}} \quad (5.15)$$

perusteella. /Luomi, 1995/

Tehdään sama arvio myös tilavuudelle ja hinnalle. Kun V' on arvioidun muuntajan tilavuus ja V tiedetyn muuntajan tilavuus, H' arvioidun muuntajan hinta ja H tiedetty hinta, saadaan vastaavasti

$$V' = V \cdot \left(\frac{S'}{S} \right)^{\frac{3}{4}} \quad (5.16)$$

$$H' = H \cdot \left(\frac{S'}{S} \right)^{\frac{3}{4}} \quad (5.17)$$

Seuraava askel on piirtää näitä käyriä parhaiten kuvaava suora arvioinnin helpottamiseksi. Kun jokaisesta muuntajista on erikseen tehty arviokäyrät yhtälöiden (5.15)-(5.17) perusteella, piirretään ne kaikki samaan kuvaan. Piirretään pessimistisimmän tilanteen suora siten, että suoran pisteet noudattavat mahdollisimman hyvin yhtälöistä (5.15)-(5.17) saatuja käyriä.

Lopuksi otetaan tuloksista vielä trendikäyrä pienimmän neliösumman menetelmällä. Tätä tapaa käsitellään tarkemmin SAMI MegaStar-muuntajien yhteydessä seuraavassa kappaleessa 5.2.5.2.

Käyrien piirtämisessä arvioidaan muuntajia 500kVA:n välein. Tämä huomioidaan pyöristämällä tarvitun muuntajan teho lähimpään 500kVA:n.

5.2.5.2 SAMI MegaStarin muuntajat

SAMI MegaStar on ABB:llä jo suhteellisen vanhaa tekniikkaa. Tästä syystä myös muuntajia oli helpommin saatavissa tähän tutkimukseen.

Tulevaisuudessa muuntajia pyritään valmistamaan nestejäähdytteisinä. Siitä syystä pyritään myös tässä kohdassa arvioimaan nestejäähdytteisten muuntajien tilavuutta, painoa ja hintaa.

Arvioidaan tilavuutta, painoa ja hintaa aluksi lineaarista aproksimaatiota käyttäen muuntajan näennäistehon S_m funktiona. Käytetään suoria, jotka ovat muotoa $y=kx+b$, jossa tilavuuden, painon ja hinnan kulmakertoimet ovat

$$k_v = \frac{\Delta V}{\Delta S_m} \quad (5.18)$$

$$k_m = \frac{\Delta m}{\Delta S_m} \quad (5.19)$$

$$k_H = \frac{\Delta H}{\Delta S_m} \quad (5.20)$$

Näissä Δ -suure kuvaa eroa suurimman ja pienimmän saadun vertailumuuntajan välillä. Vertailumuuntajat ovat esitetyt liitteen 3 taulukoissa L 3.4 ja L3.5.

Suoran yhtälön b-arvo on määritelty yhtälöillä

$$b_v = \max(V_i - k_v \cdot S_{m,i}), i = 1 \dots 7 \quad (5.21)$$

$$b_m = \max(m_i - k_m \cdot S_{m,i}), i = 1 \dots 7 \quad (5.22)$$

$$b_H = \max(H_i - k_H \cdot S_{m,i}), i = 1 \dots 7 \quad (5.23)$$

Tässä i on muuntajan indeksiluku. Muuntajia on 7 kpl, joten i vaihtelee yhden ja seitsemän välillä. Yhtälöt valitsevat maksimiarvon eli heikoimman tilanteen laske-
tuista arvioista.

Seuraavaksi arvioidaan tilavuutta, painoa ja hintaa syklokonvertterimuuntajien tapaan yhtälöiden (5.15)-(5.17) mukaan.

Valitaan aina tehoalueeltaan lähin muuntaja vertailumuuntajaksi. Piirretään yhtälöiden (5.15)-(5.17) perusteella saatujen arvojen perusteella lineaarinen pienimmän neliösumman trendikäyrä yhtälöiden

$$k = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2}, \quad (5.24)$$

$$b = \bar{y} - k\bar{x} \quad (5.25)$$

avulla. /Niemi, 1994/

Mittapisteiden vähyiden vuoksi arvioidaan pessimistisempi tilanne. Nostetaan suoraa mittapisteiden avulla siten, että b-arvo noudattaakin yhtälöä

$$b = b_{\max} = \max(y_i - kx_i) \quad (5.26)$$

Lopuksi vielä yhdistetään saatu trendisuora ja teoreettinen yhtälöiden (5.15)-(5.17) mukainen käyrä ottamalla näiden kahden käyrän maksimiarvo ja muodostamalla tästä vielä uusi trendisuora yhtälöiden (5.24) ja (5.25) avulla.

Nyt trendikäyrän perusteella saadaan tarvittavan IP00- tai IP23-muuntajan tilavuus, paino ja hinta potkurimoottoritehon funktiona.

Lopputulokseksi haluttiin nestejäähdytteiset muuntajat. Tämä tehdään asettamalla muuntajille kertoimet. Kertoimet valitaan laskemalla nestemuuntajan ja arvioidun kuivamuuntajan suhde. Nestemuuntajat saadaan liitteen 3 taulukosta L3.2. Lasketaan lopuksi kerroin, jonka avulla muuntajia arvioidaan vertaamalla kahden eri valmistajan muuntajia arviokäyrän avulla. Kertoimien lukuarvot on esitetty liitteen 3 taulukossa L3.3.

5.2.5.3 ACS600:n muuntajat

Valmistajalta saatiin taulukon liitteen 3 taulukon L3.2 ACS600-muuntajat.

ACS600-multidrivea ei olla vielä laivoissa paljoa käytetty. Tästä syystä valmiita muuntajaratkaisuja ei laivakäyttöjä varten ole saatavilla paljoa. ACS600-muuntajat arvioidaan SAMI MegaStar-muuntajan muodostetun arviointikäyrän ja saatujen ACS 600-muuntajien avulla asettamalla tietty kerroin saadulle SAMI MegaStar muuntajan tilavuudelle, hinnalle ja painolle. Kertoimet ilmenevät taulukosta 3 liitteestä L3.3.

5.2.5.4 PWM-tahtikoneoption muuntajat

PWM-tahtikoneoption muuntajia saatiin valmistajalta kolme kappaletta. Muuntajat ovat esitetyt liitteen 3 taulukossa L3.2. Kattavan arvioinnin tekeminen näin pienellä otoksella on luonnollisesti mahdotonta.

Arvio tehdään samaan tapaan kuin SAMI MegaStar-muuntajille luvussa 5.2.5.2.

5.2.6 Vaihteet

Mekaanisessa vaihteistossa ratkaiseva mitoituskijä on potkurin vääntömomentin suuruus.

$$P = \omega \cdot T \Rightarrow T = \frac{P}{\omega} \quad (5.27)$$

Potkurin nopeus on laivakohtaisesti tyypillinen, jolloin mekaanista vaihdetta voidaan arvioida potkuritehon funktiona. Tällöin tietenkin oletetaan myös, että maksimi käytössä oleva vääntömomentti laskee myös potkurinopeuden funktiona.

Mitoitus tehdään muuntajien tapaan suhteellisen karkeasti, mutta suuntaa-antavasti.

Valmistajalta on saatu liitteen 5 taulukon L5.1 mukaiset mekaaniset vaihteet.

Näistä lukuarvoista lasketaan moottorin vaihteeseen kohdistama vääntömomentti yhtälön (5.28) perusteella, joka on merkitty taulukkoon L5.1.

$$T = \frac{P_M}{2\pi \cdot \frac{n_M}{60}} \quad (5.28)$$

Tässä P_M on yksittäisen moottorin teho ja n_M on moottorin kierrosluku yhdessä minuutissa (RPM).

Kun tarkastellaan taulukkoa, nähdään, että suuremmalla kierrosnopeudella olevat mekaaniset vaihteet vievät enemmän tilaa laivassa. Tämä näkyy parhaiten, kun verrataan vaihdetta M2HL-1600, jonka kierrosnopeus on 160RPM ja moottorin vääntömomentti 44kNm ja vaihdetta M2HL-1600, jonka kierrosnopeus on 105RPM ja vääntömomentti 56kNm. Vaikka 105RPM:n moottorilla on suurempi vääntömomentti, on sen tilavuus silti pienempi.

Jotta tietoja voitaisiin soveltaa paremmin, tulisi mekaanisia vaihteita mitoittaa enemmän. Tässä diplomityössä tyydytään vain lineaariseen aproksimaatioon. Aproksimaatio on toteutettu suoran yhtälön $y=kx+b$ perusteella.

Kulmakerroin k lasketaan tilavuudelle V , painolle m ja hinnalle H seuraavasti

$$k_v = \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (5.29)$$

$$k_m = \frac{\Delta m}{\Delta T} \quad (5.30)$$

$$k_H = \frac{\Delta H}{\Delta T} \quad (5.31)$$

Näissä Δ -suure kuvaa eroa suurimman ja pienimmän vääntömomenttiarvon T välillä.

Suoran yhtälön b -arvo on yhtälöillä

Eli

$$b_v = 1,1 \cdot \max(V_i - k_v \cdot T_i), i = 1..4 \quad (5.32)$$

$$b_m = 1,1 \cdot \max(m_i - k_m \cdot T_i), i = 1..4 \quad (5.33)$$

$$b_H = 1,1 \cdot \max(H_i - k_H \cdot T_i), i = 1..4. \quad (5.34)$$

Koska mittapisteitä on vähän ja käyrä ei ole säännöllinen, on otettu 10% varmuusmarginaali, josta siis kerroin 1,1.

Tämä siis pätee kahden moottorin syöttämään vaihteistoon.

Kun katsotaan liitteen 5 taulukkoa L5.2, voidaan karkeasti ottaen arvioida, että kun verrataan kaksiakselisyöttöisen vaihteiston tilavuutta ja painoa yksisyöttöiseen malliin, ovat tilavuudet kaksiakselisessa yli kaksinkertaisia. Sen sijaan vaihteen paino ja hinnoittelu ovat samoja, kun verrataan yksiakselista kaksiakseliseen potkuritehon funktiona. Syy tähän ei ole itse vaihteen teho, vaan syöttömoottorien etäisyys toisistaan. Tilavuusarvio tehdään siis siten, että jaetaan taulukon L5.1 tulokset kahdella. Paino ja hinta ovat siis samat sekä yksisyöttöisessä että kaksisyöttöisessä mallissa.

5.3 Käytön kokoaminen

Kun kaikki komponentit ovat arvioidut, suoritetaan käytön arvointi yhdistämällä ne standardikäyttöiksi. Tätä operaatiota kutsutaan tässä työssä käytön kokoamiseksi.

Laivatyyppinä on kolme: kemikaalitankkeri, konttilaiva ja lautta. Kutakin laivatyyppiä varten on 11 eri standardikäyttövaihtoehtoa, joiden suuntaajina on yksi seuraavista vaihtoehtoista:

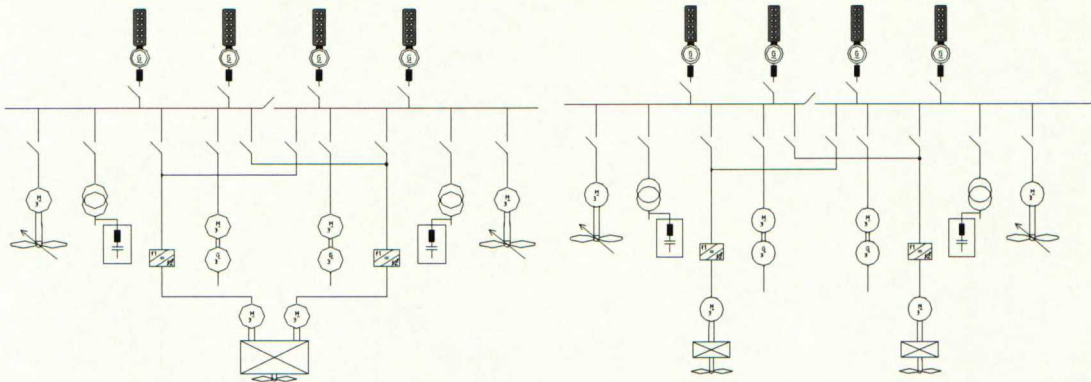
- 6 tai 12-pulssinen ACS600
- 6 tai 12-pulssinen SAMI MegaStar
- 6 tai 12-pulssinen PWM-tahtikoneoptio,
- 6 tai 12-pulssinen 1570V-moottorijännitteinen syklokonvertteri
- 6 tai 12-pulssinen 1870V-moottorijännitteinen syklokonvertteri
- Välijännitesyklokonvertteri

Seuraavissa luvuissa selostetaan kunkin käytön kokoaminen erikseen.

5.3.1 6-pulssinen ACS600- ja SAMI MegaStar-käyttö

ACS600-suuntaaja on tarkoitettu kaikkein pienitehoisimpiin sovelluksiin. SAMI MegaStar on suunniteltu suurempitehoisiin käyttöihin. ACS600 on pienjännitteinen suuntaaja, jonka syöttöjännite on vain 690V. SAMI MegaStar toimii 3300V syötöllä. 6-pulssisovelluksessa muuntajaa ei olla kytketty suuntajan eteen. Hankaluutena tässä on luonnollisesti särötason kasvu, sillä 6-pulssisessa käytössä päätaulussa esiintyy yliaaltotaajuuksia viidennestä ja seitsemännestä taajuudesta lähtien.

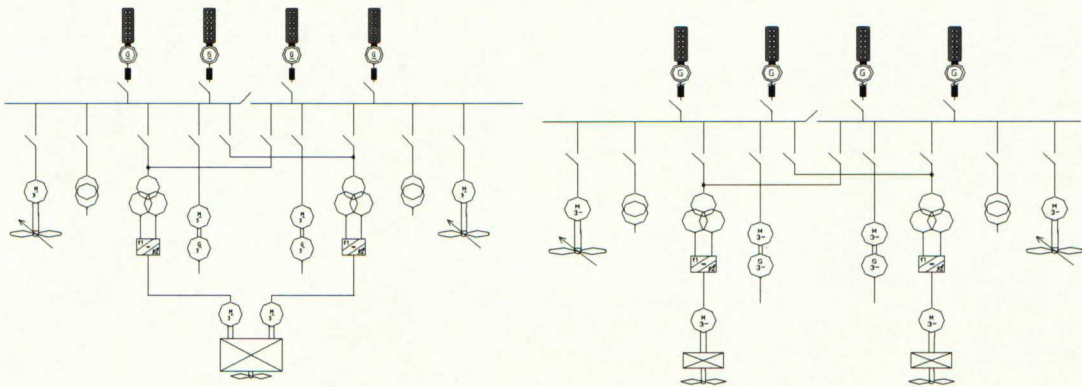
Yliaaltojen suodatusmetodeja on useita. Kuvassa 5.2 on 6-pulssisuuden vuoksi laitettu suodatin muuntajan perään kuvaamaan suodatusta hotelliverkossa. Laivaan on myös asennettu kaksi moottorigeneraattoria turvaamaan hyvälaatuisen jännitteen saanti yliaaltoherkille laitteistoille.



Kuva 5.2 Vasemmassa kuvassa on tyypillinen 6-pulssinen ACS600-tai SAMI MegaStar-laivakäyttö yksipotkurisena, oikealla vastaava järjestelmä kaksipotkurisena.

5.3.2 12-pulssinen ACS600- ja SAMI MegaStar-käyttö

ACS600-Multidrive sekä SAMI MegaStar 12-pulssisena on lähes samanlainen kuin 6-pulssisenakin. Ainoa näkyvä ero ovat muuntajat. Sähkön yliaaltoisuustaso THD% on kuitenkin pienempi, sillä Ddy-muuntajat poistavat viidennen ja seitsemännen yliaallon. Yksi- ja kaksipotkurinen 12-pulssinen ACS600- tai SAMI MegaStar-käyttö on esitetty kuvassa 5.3.



Kuva 5.3 Vasemmassa kuvassa on tyypillinen 12-pulssinen ACS600-tai SAMI MegaStar-laivakäyttö yksipotkurisena, oikealla vastaava järjestelmä kaksipotkurisena.

5.3.3 6-pulssiset PWM-tahtikoneoptio-käytöt

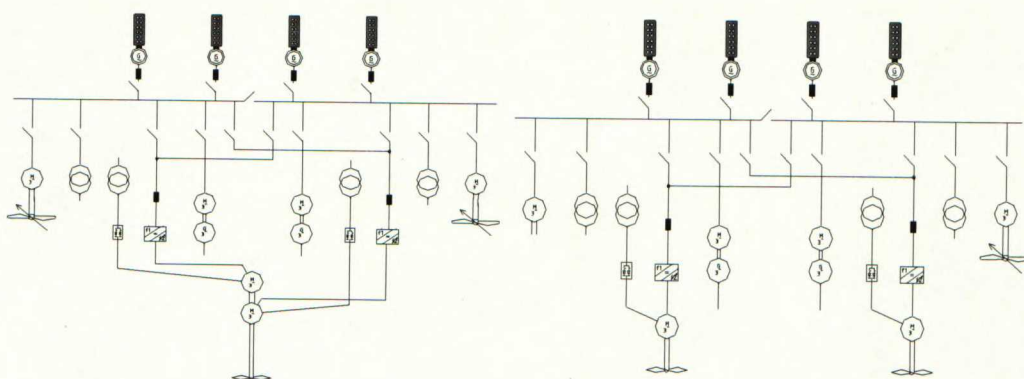
PWM-tahtikoneoptiota voidaan käyttää tahtikoneen syötössä. Tahtikonekäyttöön tarvitaan lisäksi magnetointijärjestelmä magnetointimuuntajineen. Magnetointimuuntajat kytketään matalajännitteiseen verkkoon ja ne ovat huomattavasti pienempiä kuin

syöttömuuntajat. Esimerkiksi 14MW:n syklokäyttöisessä M/S Elationissa magnetointimuuntajien nimellisteho on vain 0,4MW.

Erikoisuutena 6-pulssisessa PWM-tahtikoneoptiokäytössä ovat vaiheensiirtokuristimet suuntaajan syötössä. PWM-tahtikoneoptiosuuntaajan syötössä tarvitaan kuristimet syöttöön joka tapauksessa. Kuristimien tarkoituksena on pienentää kommutoinnin aikaisia oikosulkuvirtoja, sekä pienentää di/dt :n arvoja ja toimia välipiirin tasoituskuristimena.

PWM-tahtikoneoptio on esitetty 6-pulssisena kuvassa 5.4.

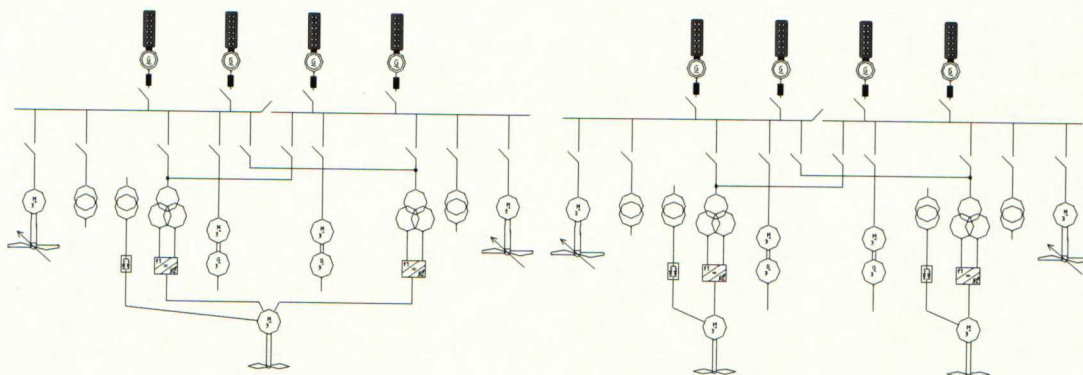
Vaiheensiirtokuristimia ei kuitenkaan valmistajalta saatu tähän tutkimukseen, joten kuristimien tilalla on käytetty muuntajia.



Kuva 5.4 PWM tahtikoneoption 6-pulssiseen ratkaisuun voidaan asentaa särötason pienentämiseksi vaiheensiirtokuristimet, sillä ne tarvitsevat AFU:n syöttöön impedanssin.

5.3.4 12-pulssiset PWM-tahtikoneoptio-käytöt

PWM-tahtikoneoptio 12-pulssisena on järjestelmänä kuten ACS600 ja SAMI MegaStar. Mikäli käytetään tahtikonetta, tulee järjestelmään lisäksi kuvan 5.5 mukaisesti magnetointijärjestelmä.

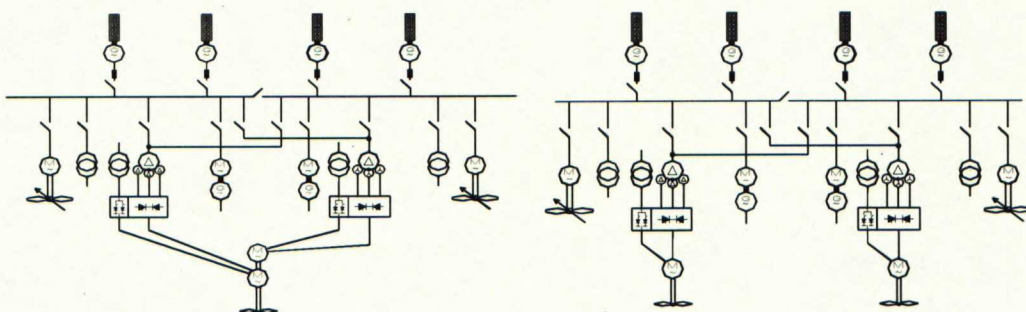


Kuva 5.5 PWM-tahtikoneoptio 12 pulssisena eroaa 12-pulssisesta ACS600- ja SAMI MegaStar-käyttöistä siten, että magnetointilaitteisto lisäämällä voidaan PWM-tahtikoneoptiota käyttää tahtikoneen käyttönä.

5.3.5 Muuntajakytkentäiset syklokonvertterikäytöt

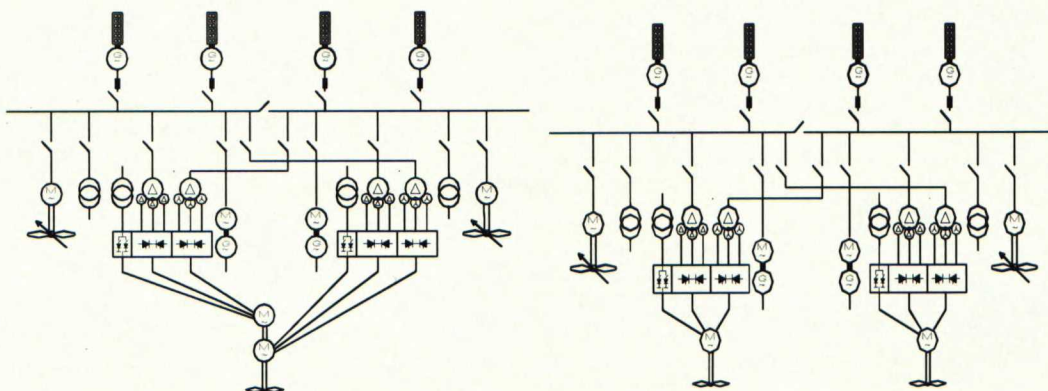
Muuntajakytkentäisissä syklokonvertterikäytöissä tullaan tulevaisuudessa käyttämään nelikäämistä nestemuuntajaa. Muuntajakytkentäinen syklokonvertterikäyttö vie paljon tilaa, vaikka itse syklokonvertterikaapistot ovatkin pienempiä kuin esimerkiksi PWM-tahtikoneoptiolla.

On hieman harhaanjohtavaa puhua 6-pulssisista (kuva 5.6) ja 12-pulssisesta (kuva 5.7) käytöstä, kun puhutaan muuntajakytkentäisestä syklokonvertterikäytöstä. Tarpeellisen redundanssitason saavuttamiseksi tarvitaan syklokonvertteriratkaisuun joka tapauksessa vähintään kaksi nelikäämistä muuntajaa, toinen ensimmäiseen syklokonvertteriin, toinen toiseen syklokonvertteriin, jolloin niistä ensimmäinen voidaan kytkeä Dd- ja toinen Dy-kytkennällä. Toisaalta jos potkureita käytetään eri tehoilla, eivät yliaallot kumoudu erisuuruisten amplitudien vuoksi.



Kuva 5.6 Yksipotkurinen ja kaksipotkurinen muuntajakytkentäinen syklokonvertteri toimii 6-pulssisena, jos käytetään vain toista potkurimoottoria. Redundanssin parantamiseksi käytetään yksipotkurisessakin laivassa kahta moottoria mekaanisella sarjaankytkennällä.

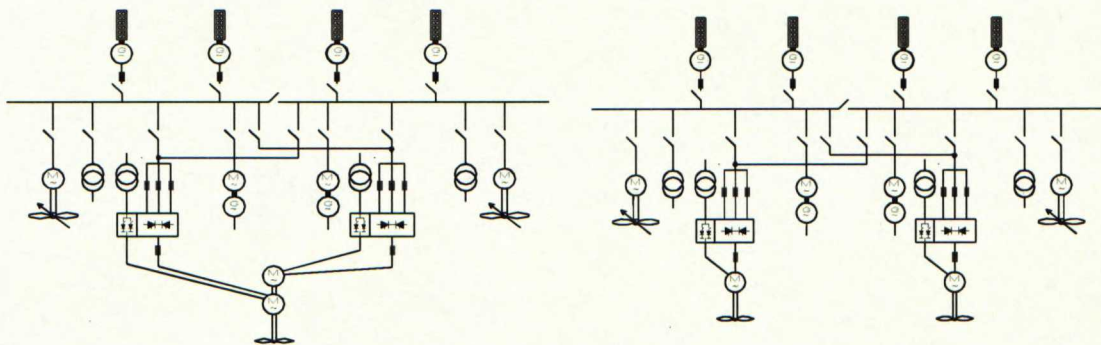
Tässä työssä 12-pulssisuudesta puhutaan silloin, kun järjestelmä on aina 12-pulssinen eli se toimii 12-pulssisena myös silloin, kun toinen moottori on pois toiminnasta.



Kuva 5.7 12-pulssinen syklokonvertterikäyttö yksi- ja kaksipotkurisena.

5.3.6 Välijännitesyklokonvertterikäytöt

Välijännitesyklokonvertteri toimii nimensä mukaisesti välijännittesyötöllä ilman syöttömuuntajaa. Kuvassa 5.8 on tyypillinen välijännitesyklokonvertterikäyttö yksi- ja kaksipotkurisena. Suuntaajan edessä on muuntajien sijasta kommutointikuristimet, joiden tarkoitus on pienentää kommutoinnissa tapahtuvaa oikosulkuvirtaa. Moottoripuolelle joudutaan asentamaan erilliskäämikytken vuoksi.



Kuva 5.8 Yksipotkurinen ja kaksipotkurinen välijännitesyklokonvertteriratkaisu

5.3.7 Vertailun numeerinen kokoaminen

Käydään kertaalleen läpi taulukon 5.1-mukainen käytön kokoaminen. Numeeriset tulokset ovat liitteissä 7-9 käytöittäin ja laivoittain. Jokaisesta käytöstä on mitoitettu komponentit taulukon 5.1-mukaisesti, jotta saadaan selville käytön tilavuus, paino ja hinta.

Hinta on merkitty hintaindeksin avulla. Se on suhteellinen luku, jota kutsutaan hintaindeksiksi.

Taulukon 5.1 kokoaminen on selvitetty tarkemmin seuraavissa luvuissa.

Taulukko 5.1 Käytön kokoaminen tehdään komponenteittain potkuritehon funktiona. Taulukko täytetään tarvittavin osin, jotta jokaisen käytön tilavuus, paino ja hinta saadaan selville.

	KÄYTTÖ					
	Minimipiste	Piste 2	Piste 3	Piste 4	Piste 5	Maksimipiste
Potkuriteho (kW)						
Minimipotkuriteho (kW)						
Maksipotkuriteho (kW) (Päätaulu)						
Suuntaaja/puissiluku (kVA)						
Käytettävä suuntaaja (kVA)						
Suuntaajan tilavuus (m^3)						
Suuntaajan paino (kg)						
Suuntaajan hintaindeksi						
Generaattoriteho (kVA)						
Yhden generaattorin teho (kVA)						
Yhden generaattorin virta (A)						
Cos fii						
Xd"						
Moottoriteho (kW)						
Moottorivirta (A)						
Moottorien lukumäärä						
Käämien lukumäärä/moottori						
Päätaulu	MHS-pienjännite/ Valijännitepäätaulu	MHS-pienjännite/ Valijännitepäätaulu	MHS-pienjännite/ Valijännitepäätaulu	MHS-pienjännite/ Valijännitepäätaulu	MHS-pienjännite/ Valijännitepäätaulu	MHS-pienjännite/ Valijännitepäätaulu
Päätaulun jännite (V)						
P-moottorin ottama virta (A)						
Kiskoston maksimivirta (A)						
Oikosulkuvirta (A)						
Oikosulkuvirran tarkistus						
Päätaulukentät:	Generaattoritulot	4	Redundanssi	2	Hotellijärjestelmä	2
	Suuntaajalähdöt	2	Magnetointi	0	Suodatus (M/G)	2
	Päätaulun jako	1	Mittauskentät	2	(arvioitu kiskokatkaisijakentän hinnaksi)	
Kenttien lukumäärä:						
Päätaulun tilavuus (m^3)						
Päätaulun paino (kg)						
Päätaulun hintaindeksi						
Muuntaja (kVA)						
Muuntosuhde						
Muuntajan tilavuus (m^3)						
Muuntajan paino (kg)						
Muuntajan hintaindeksi						
Vaihte						
Moottorin vääntömomentti P=wT						
=> T=P/w (kNm)						
Vaihteen välityssuhde						
Vaihteen tilavuus (m^3)						
Vaihteen paino (kg)						
Vaihteen hintaindeksi						
Kommutointikuristin						
Huom! Vakiokuristin						
Kuristimen tilavuus (m^3)						
Kuristimen paino (kg)						
Kuristimen hintaindeksi						
Nollakuristin						
Huom! Vakiokuristin						
Kuristimen tilavuus (m^3)						
Kuristimen paino (kg)						
Kuristimen hintaindeksi						
Käytön tilavuus (m^3)						
Käytön paino (kg)						
Käytön hintaindeksi						
Tilavuus/potkuriteho (m^3/W)						
Paino/potkuriteho (kg/kW)						
Hintaindeksi/potkuriteho (/W)						

5.3.7.1 Suuntaaja

Tässä työssä käytön kokoaminen aloitetaan suuntaajasta. Aluksi valitaan suuntaaja, joka on siis ACS600, SAMI MegaStar, PWM-tahtikoneoptio, matalajännitesyklokon-

vertteri tai välijännitesyklokonvertteri. Lisäksi kaikista näistä käytöistä tehdään sekä 6-pulssinen että 12-pulssinen ratkaisu. Suuntaajatyypin valitaan halutun tehon sekä valittavana olevien suuntaajien perusteella. Halutun näennäistehon tulee olla pienempi kuin suuntaajan nimellinäennäisteho. Suuntaajan viemä tilavuus, sen paino ja hinta on saatu valmistajalta. Hinta on ilmoitettu suhteellisen eli hintaindeksinä.

5.3.7.2 Generaattori

Kun suuntaaja on valittu saadaan myös generaattoriteho laskettua. Suuntaajalähtöjen määrän perusteella lasketaan suuntaajien yhteisteho $\sum S_s$, jonka jälkeen generaattoriteho saadaan laskettua kappaleen 5.2.2 mukaan yhtälöllä (5.5).

Yhden generaattorin teho saadaan jakamalla generaattorien määrällä. Generaattorin virta lasketaan päätaulun jännitteen sekä yhden generaattorin näennäistehon avulla kappaleen 5.2.2 mukaan yhtälöllä (5.6).

Taulukon kohta $\cos\phi$ on suuntaajan verkonpuoleinen tehokerroin, jota käytetään yhtälössä (5.5).

Lopuksi annetaan vielä generaattorille jonkinlainen tyypillinen x_d'' :n arvo, jota voidaan vaihtaa oikosulkuvirran arvioinnin yhteydessä.

5.3.7.3 Moottori

Moottorin valitsemista on käsitelty tarkemmin kappaleessa 5.2.3. Moottoriteho on riippuvainen suuntaajan syöttämästä tehosta yhtälön (5.1) mukaan. Moottorivirta lasketaan kappaleen 5.2.3 mukaan välipiirisuuntaajilla yhtälöllä (5.7) ja syklokonverteilla yhtälöllä (5.9).

Moottorien lukumäärä on käyttökohtainen ja kertoo laivan potkurisähkömoottorien yhteislukumäärän. Käämien lukumäärä oikosulkumoottoreilla on tässä tutkimuksessa aina yksi. Tahtikoneilla käytetään myös luvun 4.4.5-mukaista kaksoiskäämitystä.

5.3.7.4 Päätaulu

Päätauluja voidaan koota monella tavalla. Tässä tutkimuksessa keskitytään joko MHS-pienjännitepäätauluun ABB SACE F1S-katkaisijoilla tai välijännitepäätauluun SF6-katkaisijoilla.

Päätaulun jännite pidetään tutkimuksessa aina 6600V:na, jos käytetään syklokonvertteria tai muuntajaa suuntaajan syötössä. ACS600:lla jännite on 690V, PWM-tahtikoneoptiolla 3000V ja SAMI MegaStarilla 3300V.

Päätauluvertailussa käytetään MHS-pienjännitepäätaulua ja välijännitepäätaulua. MHS-pienjännitepäätaulussa jännite on 690V. Muissa tapauksissa jännite on maksimissaan 6600V.

Potkurimoottorin ottaa päätaulusta muuntajan muuntosuhteen μ -mukaisesti virran syklokonvertterilla

$$I_{pM} = 2 \frac{I_M}{\mu}. \quad (5.35)$$

Välipiiritaajuusmuuttajalla

$$I_{pM} = \frac{I_M}{\mu}. \quad (5.36)$$

Jos suuntaajan tasajännitevälipiiri on jaettu kahteen eri jännitetasoon muuntajien avulla kuten SAMI MegaStarilla ja PWM-tahtikoneoptiolla, pätee

$$I_{pM} = \frac{I_M}{2\mu}. \quad (5.37)$$

Kiskoston maksimivirta on virta, joka maksimissaan kulkee kiskostossa generaattoreiden syötön ja suuntaajan sijainnin mukaan. Se lasketaan yhtälön (5.11) mukaan.

Kiskoston maksimivirta I_{max} on suurin virta, joka generaattorien tuottamana voi kulkea päätaulun kiskostossa. Jos muu teho kuin potkuriteho on vähintään yhtäsuuri kuin potkuriteho, on tällä arvolla tutkimuksen kannalta merkitystä.

Päätaulun moottorien ottama virta I_{pM} on moottorikatkaisikentän maksimivirta. Se ei saa ylittää 2500A.

Päätaulukentät ovat kaikilla käytöillä samat, jotta saataisi mahdollisimman hyvä keskinäinen käyttövertailu. Kentät selityksineen ilmenevät kappaleesta 5.2.4, mutta tässä vielä lyhyt yhteenveto kenttien nimistä.

Kenttiä ovat

- Generaattoritulot
- Suuntaajalähdöt
- Päätaulun jako
- Redundanssi
- Magnetointi
- Mittauskentät
- Hotellijärjestelmä
- Suodatus (M/G)

Generaattoreita tässä tutkimuksessa on aina neljä. Suuntaajalähtöjä on kaksi. Päätaulu jaetaan kahteen osaan, jonka vuoksi päätaulun jakokenttiä on yksi kappale. Redundanssi tarkoittaa tässä kahta katkaisijakenttää, joiden avulla voidaan tarvittaessa puolikkaalla päätaululla syöttää pois käytöstä olevan päätaulun puolta. Magnetointi otetaan tässä tutkimuksessa aina alajännitepuolelta, joten näitä kenttiä ei ole. Mittauskenttiä on jokaisessa päätulun itsenäisesti toimivassa osassa. Koska päätaulu on jaettu kahteen osaan, on näitä siis kaksi. Viimeiset kaksi kohtaa on laitettu vain kuvaamaan hotellijärjestelmää ja kenttiä on siis yhteensä neljä kappaletta. Näiden arvojen perusteella lasketaan päätaulun tilavuus, paino ja hinta laivassa.

5.3.7.5 Muuntaja

Muuntajan näennäisteho lasketaan potkurimoottorin tehon funktiona kappaleen 5.2.5 mukaan yhtälöllä (5.14). Muuntajan muuntosuhde on saatu esimerkkimuuntajista. Näiden tietojen perusteella saadaan tilavuus, paino ja hinta kappaleen 5.2.5 mukaan.

5.3.7.6 Vaihde

Mekaanista vaihdetta käytetään vain epätahtikäytöissä, joissa ei ole Azipodia. Se mahdollistaa pienemmän sähkömoottorin, sillä moottori voi olla nopea.

Vaihteen valintaa varten lasketaan vääntömomentti moottorin tehon P_M , välityssuhteen i ja potkurin pyörimisnopeuden ω funktiona yhtälöllä

$$T = \frac{P_M}{i \cdot \omega}. \quad (5.38)$$

Tästä saadaan vaihteen tilavuus, paino ja hinta kappaleen 5.2.6 perusteella.

5.3.7.7 Kuristimet

Tässä työssä vertaillaan kolmea eri kuristintyyppiä. Kommutointikuristimet ja nollakuristimet ovat välijännitesyklokonvertterissa välttämättömiä. Niiden tilavuutta, painoa ja hintaa ei kuitenkaan voida esittää samalla tavalla potkuritehon funktiona kuin muita komponentteja. Tästä syystä nämä komponentit arvioidaan vakioina vertaamalla niitä kahteen aikaisemmin toteutuneeseen projektiin.

Vaiheensiirtokuristimet ovat sen verran uusia komponentteja, että niistä ei ole tietoa tässä vaiheessa saatavilla. Siitä syystä kommutointikuristimien paikalla käytetään muuntajaa. Luonnollisesti vertailu kärsii tästä, mutta toisaalta PWM-tahtikoneoptio, jossa vaiheensiirtokuristimia käytettäisiin on muutenkin vielä tätä kirjoitettaessa keskenäinen laivasovelluksien kannalta.

5.3.7.8 Potkuriteho

Potkuriteho on sama kuin potkurimoottorien lukumäärä kertaa moottoriteho eli

$$\sum P_{\text{potkuri}} = k_M \cdot P_M, \quad (5.49)$$

jossa siis k_M on potkurimoottorien lukumäärä ja P_M on kunkin moottorin teho, joka tässä työssä on aina sama. Minimipotkuriteho on pienin potkuriteho, jolle suuntaaja on tämän tyyppisessä ratkaisussa suunniteltu. Maksimipotkuriteho on laskettu päätaulun kyvystä syöttää virtaa potkurimoottorille.

5.3.7.9 Yhteenlasku

Lopuksi kaikki taulukon 5.9-mukaiset komponentit lasketaan tilavuuksien, painon ja hintaindeksin mukaan yksinkertaisesti yhteen. Tuloksissa jää näin huomioimatta esimerkiksi oheistila, jota komponentit vievät. Toisaalta tarkkuus tässä työssä ei ole niin suuri, että tällä seikalla olisi ratkaiseva merkitys. Käytöt ovat kuitenkin näillä kriteereillä keskenään vertailukelpoisia. Lopuksi lasketaan vielä tilavuus, paino ja hinta tehoyksikköä kohden.

5.4 Arviointi

Kun esimerkkikäytöt on koottu, muodostetaan käyttöjen lineaariset arviokäyrät tilavuudesta, painosta ja hintaindeksistä potkuritehon funktiona kustakin eri laivatyyppistä erikseen. Käyrien piirtäminen tehdään käyttämällä lineaarista aproksimaatiota. Otetaan suurin ja pienin piste ja piirretään suora näiden kautta. Toinen menetelmä olisi käyttää yhtälöitä (5.24) ja (5.25), joka muuttaisi hieman lopputuloksia. Tämän jälkeen nämä käyrät piirretään laivatyypeittäin samaan kuvaan.

Seuraava toimenpide on etsiä kuvaajien leikkauspisteet sekä käyrien tehoalueiden minimi- ja maksimit. Etsitään näiden tietojen perusteella minimikäyttö kullekin tehoalueelle potkuritehon funktiona. Tämä tehdään sekä tilavuudelle, painolle että hintaindeksikäyrille erikseen.

Kun minimikäyrät on saatu, muodostetaan pylväsdigrammit, jotka kertovat kulloisenkin optimitehoalueen.

Numeerinen tutkimus selostetaan luvussa 6.

6 Suositukset eri laivatyyppeihin

6.1 Kemikaalitankkeri

6.1.1 Yleistä tankkereista ja kemikaalitankkerista

Suurimmat tankkialukset ovat valtameriöljytankkereita. Niiden kantavuus on tyypillisesti 200 000 – 350 000 tonnia. Niiden koko on niin suuri, että syväyksen vuoksi joudutaan lasti esimerkiksi Itämerelle tultaessa siirtämään pienempiin tankkereihin. Suuret raakaöljyä kuljettavat tankkerit ovat suhteellisen hitaita. Niiden maksiminopeus on vain noin 12-15 solmua, mutta pienemmät, erityisesti jalostettuja öljytuotteita sekä muita tankeissa kulkevia tuotteita kuljettavat tankkerit ovat jo nopeampia. Pienemmissä tankkereissa myös tilat on jaettu moniin eri tankkeihin joustavuuden takaamiseksi kuljetuksessa. Tämä seikka lisää myös turvallisuutta kuljetuksissa. Näissä pienimmissä tankkereissa käytetään lisäksi usein DP-järjestelmää, jossa aluksen täsmällinen paikan pitäminen on tärkeää ja vaatii hyvää ohjailtavuutta.



Kuva 6.1 *Kemikaalitankkerit kuljettavat usein vaativaa lastia.*

Öljytankkereissa on perinteisesti käytetty perinteistä hidasta kaksitahtidieseliä. Eri-laisten operaatiovaatimusten myötä ollaan viimeaikoina alettu käyttää sekä säätöpotkurijärjestelmää että dieselsähköistä järjestelmää. Vaatimukset korkeasta redundanssista kasvavat öljytankkereiden onnettomuuksista johtuen, mikä varmasti ei ainakaan heikennä dieselsähköisen järjestelmän suosiota. Laajojen selvitysten mukaan dieselsähköinen konsepti on varteenotettava vaihtoehto tankkereihin. Tankkerilla on lisäksi paljon oheissähköteho vaatimusta, joten laivassa tuotetaan muutenkin paljon sähkötehoa.

Dieselsähköinen konsepti on turvallinen, sen käyttövarmuus on suuri ja operoimisen lisääntyessä myös taloudellisuus kasvaa. Juuri edellä mainitut seikat ovat merkittävimpiä seikkoja kemikaalitankkereille, joiden lasti on usein saastuttavaa ja reitit kul-

kevat lähellä rannikkoa. Lisäksi dieselsähköisellä konseptilla saavutetaan tilansäästöjä. /Nurmi, 1995//Wilthill, 1996//Räisänen, 1997/

6.1.2 Kemikaalitankkerin käytön kokoaminen

Kemikaalitankkerin käytöt eri esimerkkitehoalueilla on esitetty liitteessä 7. Eri käyttöjen kuvaajat tilavuudesta, painosta ja hintaindeksistä potkuritehon funktiona on esitetty liitteen 10 kuvissa L10.1-L10.3.

Liitteen 7 taulukko L7.1 kuvaa tyypillistä kemikaalitankkerin profiilia. Se on suhteellisen syvällä uiva alus painavan lastinsa vuoksi. Tällaiseen alukseen kannattaa asentaa yksi hitaasti pyörivä potkuri. Potkurin pyörimisnopeus on maksimissaan 100RPM. Laivan potkuritehon ulkopuolinen teho on suhteellisen alhaista tässä

esimerkkialuksessa. Yhtälön (5.5) mukainen kerroin $\frac{\sum S_G'}{\sum P_M'}$ on asetettu 1,5:een.

Tämä termi kuvaa siis generaattorien yhteenlasketun näennäistehon summan ja potkurimoottorien yhteenlasketun patotehon summan suhdetta syklokonvertterikäytöllä eli käytöllä, jonka tehokerroin $\cos\phi$ on mitoitettu 0,75:ksi. Arvio on kokemusperäinen ja voi muuttua radikaalisti, jos esimerkiksi jäähdytystehoa tarvitaan huomattavia määriä. /Liljeström, 1998//Nurmi, 1998/

6.2 Konttilaiva

6.2.1 Yleistä konttilaivoista

Konttilaivat on rakennettu periaatteella, että lastin kuljettamiseen käytetään standardikokoisia kontteja. Peruskonttikoko on 20 jalan kontti, jonka pituus on noin 6m, korkeus ja leveys on noin 2,5m. Konttikokoja on kuitenkin useita tyypillisten 20 ja 40 jalan konttien lisäksi. Uusia konttikokoja on vielä tulossa lisää. Konttilaivan kapasiteetti ilmoitetaan peruskonttikoon mukaan TEU-yksikköinä, joka siis tarkoittaa 20 jalan konttien kokonaismäärää (Twenty feet Equivalent Unit). Nykyään suurin osa kappaletavaralasteista kulkee konteissa. Vuonna 1994 konttien merikuljetuksista 53% tehtiin konttilaivoilla.

Laivan lastaus tapahtuu useimmiten automaation avulla tehokkaasti. Näiden huippuautomaation omaavien satamien kautta kulkeekin suurin osa konttiliikenteestä. Suurin ero kuivarahtilaivoihin on, että omia nostureita konttilaivoissa ei yleensä ole. Näiden alusten kansirakennus sijaitsee usein perässä ja suurimmissa laivoissa keskellä.



Kuva 6.2 Konttilaiva kuljettaa lastinsa vakiokokoisissa konteissa.

Esimerkkinä konttilaivoista voidaan mainita lo-lo (load on, load off) alukset, joihin mahtuu jopa 6000 TEU-konttia. Näiden alusten nopeus on n. 22-27 solmua.

Konttilaivan potkurijärjestelmä riippuu paljon käyttötärpeesta. Suuret pitkille matkoille tarkoitetut konttilaivat varustetaan tavallisimmin kiinteäläpäsillä potkurijärjestelmällä suoraan dieselmoottoriin. Kaikki häviöt pyritään minimoimaan ja ohjattavuudelle ei aseteta suuria vaatimuksia. Laivassa tarvitaan paljon sähköä esimerkiksi jäähdytysjärjestelmiin. Kun laivakoko pienenee ja matkat lyhenevät, myös ohjattavuusvaatimus kasvaa. Tällöin mm. Säädetty potkuri sekä sähköpropulsio-vaihtoehto voidaan jo ottaa harkintaan. /Räisänen, 1997/

6.2.2 Konttilaivan käytön kokoaminen

Konttilaivan käytöt eri esimerkkitehoalueilla on esitetty liitteessä 8. Eri käyttöjen kuvaajat tilavuudesta, painosta ja hintaindeksistä potkuritehon funktiona on esitetty liitteen 10 kuvissa L10.4-L10.6.

Liitteen 8 taulukko L8.1 kuvaa tyypillistä konttilaivan profiilia. Konttilaivassa on kemikaalitankkerin tapaan painava lasti, joten se ui suhteellisen syvällä. Potkuri on siis hidas, alle 100RPM pyörivä. Konttilaivan suuremman lastin energiantarpeen vuoksi

yhtälön (5.5) mukainen kerroin $\frac{\sum S'_G}{\sum P'_M}$ on asetettu korkeammaksi eli tässä vertailussa

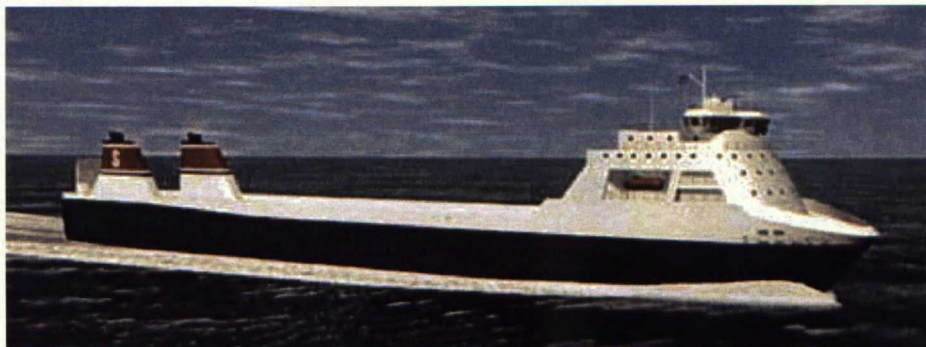
arvoon 1,7. Kerroin siis lisää päätaulun ja generaattorien mitoitusarvetta. /Liljeström, 1998//Nurmi, 1998/

6.3 Lautta

6.3.1 Yleistä lautoista

Ro-Ro (Roll on Roll off) aluksiin eli lauttoihin lasti ajetaan pyörillä. Niissä voi olla useita lastausportteja, hissejä sekä nostettavia ajoramppeja. Lastaus tapahtuu joko yksinkertaisesti ajamalla pyörillä kulkeva lasti laivaan sisään tai erillisten pyörillä kulkevien kuljettimien avulla. Ro-Ro alukset ovat usein korkeita aluksia, sillä niihin

halutaan saada suojaan useita autokansia. Kansirakennus on usein sijoitettu laivan keulaan, jotta se suojaisi samalla peräosaan kannelle sijoitettavaa lastia.



Kuva 6.3 *Ro-Ro-tyyppisissä aluksissa lastaus tapahtuu pyörien avulla.*

Suomen liikenteessä olevissa Ro-Ro aluksissa on tavallisesti yksi tai kaksi potkuria, joista Suomen jääolosuhteiden vuoksi kaksipotkurinen on tavallisesti helpompi toteuttaa. Potkuriratkaisuna käytetään usein säätöpotkurijärjestelmää, mutta ohjattavuusvaatimuksen johdosta on dieselsähköinen järjestelmä myös mahdollinen. Dieselsähköistä järjestelmää tukee nimenomaan se, että alukset rantautuvat usein ja joutuvat kääntymään pienissä satama-altaissa sekä kulkemaan ahtailla väylillä pienillä nopeuksilla. Ohjattavuuden tulee siis olla hyvä.

Tyypillisesti maailmalla liikennöivät Ro-Ro-matkustaja-aluksissa eli Ropaxeissa on pienet matkustus- ja huvitilat, jotka on rakennettu Ro-Ro-rungon päälle. Ro-Ro-alus luokitellaan matkustaja-alukseksi eli Ropaxiksi, kun matkustuspaikkoja on yli 12. Ropaxien yhteydessä tärkeäksi tekijäksi muodostuu matkustajien turvallisuus. Redundanssiin pitää kiinnittää entistä enemmän huomiota. Se voi nostaa suunnittelun ja rakentamisen kustannuksia. Erityisesti Ropaxeissa kaksipotkurisuus on jo redundanssin vuoksi järkevä ratkaisu. /Räisänen, 1997//Lehtelä, 1998/

6.3.2 Lautan käytön kokoaminen

Lautan käytöt eri esimerkkitehoalueilla on esitetty liitteessä 9. Eri käyttöjen kuvaajat tilavuudesta, painosta ja hintaindeksistä potkuritehon funktiona on esitetty liitteen 10 kuvissa L10.7-L10.9.

Liitteen 9 taulukko L9.1 kuvaa tyypillistä lautan profiilia. Lautta on suhteellisen korkea alus. Se ei tyypillisesti ui kovin syvällä. Tästä syystä lautta kannattaakin yleensä rakentaa kaksipotkurisena. Potkuri on nopeampi kuin konttilaivassa ja kemikaalitankkerissa. Lautan potkurin nopeus tyypillisesti välillä 140-160RPM.

Yhtälön (5.5) mukainen kerroin $\frac{\sum S'_G}{\sum P'_M}$ on asetettu 1,5:een, sillä lautan lasti ei

yleensä vaadi edes Ropax-aluksissa kovin suurta tehoa potkurien ulkopuolelle. /Liljeström, 1998//Nurmi, 1998/

6.4 Yhteenveto käyttöjen käyristä

Kun esimerkkikäyttöjen arvot on koottu, muodostetaan niistä lineaariset arviokäyrät kustakin. Arviokäyrät ovat merkityt liitteen 10 kuviin L10.1-L10.9 alustyypeittäin tilavuuden, painon ja hintaindeksin mukaan laskettuna potkuritehon funktiona. Lasketaan minimikäyrä lineaarisen aproksimoinnin avulla. Etsitään leikkauspisteet, joiden arvot on merkitty liitteen 11 taulukkoihin L11.1-L11.4. Lopulta saadaan liitteen 11 kuvien L11.1-L11.3-mukaiset optimikäytöt tehoalueittain tilavuuden, painon ja hintaindeksin mukaan arvioituna.

Taulukoissa L11.1-L11.2 on esitetty eri pulssilukujen mukaan tehoalueet, jossa kutakin käyttöä kannattaa käyttää. Taulukoissa L11.3-L11.4 on esitetty vastaavien tehoalueiden numeeriset arvot eli tilavuudet, painot ja hintaindeksi.

7 Johtopäätökset

Oikean käytön valinta riippuu laivatyyppistä, tehoalueesta ja käyttötarkoituksesta. Numeeriset arvot valituille standardikäyttöille ilmenevät liitteen 11 taulukoissa L11.1-L11.4. Suositellut käyttöjen valinta-alueet ovat liitteen 11 kuvissa L11.1-L11.3.

Esimerkkikemikaalitankkerissa ja -konttilaivassa oli oletuksena yksi hidasnopeuksinen alle 100RPM pyörivä potkuri. Kemikaalitankkerin ja konttilaivan erona oli generaattoritaho. Konttilaivassa potkuritehon ulkopuolista tehoa on jonkin verran enemmän. Tästä syystä päätaulun virrat kasvavat, jolloin päätaulun hinta nousee jonkin verran. Ero on sen verran pieni, että laskentatarkkuuden vuoksi sitä on vaikea havaita. Generaattoreiden teho on konttilaivassa suurempi ja näin myös generaattorit vievät enemmän tilaa ja silloin saatetaan joutua nostamaan generaattoreiden alkureaktanssia oikosulkuvirran pienentämiseksi. Vaikka alkureaktanssin suurentaminen pienentääkin generaattorin kokoa, aiheuttaa se laivan verkkoon jänniteylialtoston nousun myötä lisäsuodatustarvetta. Jos generaattorit huomioitaisiin numeerisena tässä tutkimuksessa, siirtäisi se optimikäyttöä hieman enemmän välipiirisuuntaajatyyppeihin käyttöihin. Tämä johtuu tehokertoimesta. Generaattorit kasvavat suhteellisesti enemmän syklokonverttereilla niiden huonon tehokertoimen vuoksi. Toisaalta säröratkaisut ovat myös helpompia toteuttaa välipiirisuuntaajalla. Koska oikosulkumoottori ei kuitenkaan ole järkevä suurilla tehoilla, tulee tulevaisuudessa PWM-tahtikoneen merkitys kasvamaan. PWM-tahtikoneoption suurin ongelma tällä hetkellä on sen matalampi jännite verrattuna syklokonverttereihin.

Lautta oli tässä tutkimuksessa kaksipotkurinen. Lautan potkurijärjestelmän ulkopuolinen teho valittiin samantyyppiseksi kuin kemikaalitankkerilla. Potkurin nopeudeksi valittiin 160RPM, kun se tyyppillisesti tällaisessa aluksessa on 140-160RPM. Tuloksissa pitää siis huomoida kappaleen 3.2.1 perusteella, että saman työnnon saavuttamiseksi pienemmällä potkurilla tarvitaan suurempi potkurin nopeus. Muuten kaksipotkurinen ratkaisu suosii pienillä tehoilla tilavuuden puolesta käytöltään oikosulkumoottoria ja siis ACS600- ja SAMI MegaStar-ratkaisua. Selitys on se, että näissä vertailukäytöissä voitiin käyttää yksisyöttöistä mekaanista alennusvaihdetta, joka on ainakin puolet pienempi verrattuna vastaavatehoiseen kaksisyöttöiseen alennusvaihteeseen.

Epätahtikoneita ja tahtikoneita verrattaessa täytyy huomioida laivan käyttötarkoitus. Epätahtikonekäytöissä käytetään moottorin ja potkurin välissä joko mekaanista alennusvaihdetta tai vaihtoehtoisesti erityissuunniteltua kalliimpaa oikosulkumoottoria. Esimerkiksi jääolosuhteet kasvattavat vaihteen kokoa, hintaa ja painoa. Jos tämä huomioidaan, siirtyvät liitteen 11 käytön rajat siten, että tahtikonekäyttöjä kannattaa jääolosuhteissa valita pienemmillä tehoilla.

Jos verrataan suuntaajakäyttöä toisiinsa, voidaan todeta, että suurempijännitteinen 1200V:n syötöllä toimiva NTY-syklokonvertteri tulee syrjäyttämään perinteisen 1000V syötöllä toimivan syklokonvertterin. Tämä lienee tarkoituskin, sillä kahta näin samoille tehoalueelle suunniteltua, mutta silti eri tuotetta ei kannata pitää.

PWM-tahtikoneoptio antaa myös uusia mahdollisuuksia. Tutkimuksessa käytettiin 6-pulssisessa ratkaisussa muuntajaa kuristimen asemasta johtuen yksinkertaisesti siitä, että kuristimia ei ollut saatavilla. On kuitenkin selvää, että jos muuntajat korvataan vaiheensiirtokuristimilla, päästään sekä pienempään kokoon, painoon että hintaan. Lisäksi normaalikäytöllä myös särötaso saadaan pienennettyä 12-pulssiselle tasolle ja jopa paremmaksikin johtuen AFU-syötöstä. Tästä syystä PWM-tahtikoneoptioratkaisu on tulevaisuudessa varmasti kilpailukykyisempi kuin SAMI MegaStar-ratkaisu.

ACS600-ratkaisu 6-pulssisena näyttää olevan järkevä ratkaisu pienillä tehoilla. Ratkaisussa voidaan käyttää edullisempaa ja mitoiltaan pienempää matalajännitteistä päätaulua. Suuremmilla tehoilla ACS600-ratkaisu ei kuitenkaan nykyisin ole kilpailukykyinen SAMI MegaStariin verrattuna. Tilanne voi kuitenkin muuttua, kun ilmajähdytyksestä siirrytään vesijähdytykseen.

Käyttöjen ylä ja alarajat olivat alunperin saatu valmistajalta sekä käytön virroista. Vaikka liitteen 10 käyttöjen kuvaajien perusteella näyttääkin, että joidenkin suuntaajien tehoalueita kannattaisi laajentaa, ei sitä kuitenkaan voi tämän perusteella sanoa ilman tarkempia jatkotutkimuksia. Esimerkiksi syklokonverttereissa ja PWM-tahtikoneoptiossa on tällä hetkellä olemassa vain muutama modulikoko.

Saatujen tulosten arviointi riippuu kunkin muuttujan arvostuksesta. Pienitilavuudessa laivassa on paljon tilaa lastille. Toisaalta tilavuuskaan ei aina kerro koko totuutta, sillä esimerkiksi kansivälin korkeus voi joissain tapauksissa olla kriittinen tekijä. Toinen huomioitava seikka on komponenttien määrä. Tilavuus kasvaa, määrän mukana, sillä yksittäisten komponenttien ympärillä tarvitaan huoltotilaa. Toisaalta pienet komponentit voidaan 'ripotella' sopiviin paikkoihin laivassa. Suuri käytön paino voi lisätä laivan kokonaispainoa liikaa. Käytön hinnan arvostaminen taas riippuu laivan operoinnin katelaskelmista.

Jos pohditaan lopullisen käytön valitsemista eli tilavuus, hinta ja painokriteerin yhdistämistä, aloitetaan liitteen 11 tehoalueiden arviointi hinnasta. Jos katsotaan liitteen 10 käytön kuvaajia, voidaan todeta, että välijännitesyklokonvertteri on ylivoimaisesti kallein verrattuna vastaavilla tehoalueilla oleviin 6-pulssisiin käyttöihin. Saatava hyöty näkyy lähinnä laivan käytön painossa ja suurilla tehoilla tilavuudessa. Jos laiva ei ole painokriittinen, ei välijännitesyklokonvertteri ole järkevä ratkaisu ainakaan välijännitesyklokonvertterikäytön pienillä tehoilla, jossa tilavuutta ei säästetä paljoa.

Koska pienjännitepäätaulu on tässä vertailussa ylivoimainen, kannattaa 6-pulssinen ACS600-ratkaisu valita omalla koko käytettävällä tehoalueellaan. Muutenkin epätahtikäytöt säästävät paljon tilaa laivassa varsinkin, kun on kyse kaksipotkurisesta käytöstä.

12-pulssisessa ratkaisussa ainoastaan PWM-tahtikoneoption tilavuus erottuu selvästi epäedulliseksi muihin käyttöihin verrattuna. Tämä tosiasia muuttunee kuitenkin tulevaisuudessa, kun PWM-tahtikoneoptio räätälöidään laivakäyttöille sopivaksi ja vaiheensiirtokuristimet saadaan käyttöön. Jo nyt PWM-tahtikoneoptio on kilpaileviin käyttöihin verrattuna kevyempi.

8 Yhteenveto

Kullekin laivatyyppille määriteltiin optimikäytöt. Tutkimuksen suurimpana ongelmana oli, että esimerkkikomponentteja oli rajoitetusti. Sen vuoksi jouduttiin tekemään lineaarisia aproksimaatioita useista komponenteista ja lopuksi myös käytöistä, mikä heikentää tarkkuutta. Näin ollen työn tulokset pitää ottaa suuntaa antavina.

Mikäli halutaan tarkkoja arvoja, voidaan tutkimus suorittaa tämän työn perusteella ottamalla lähes kaikkia komponentteja huomattavasti suurempi määrä ja sen jälkeen koota monta esimerkkikäyttöä lähelle oletettuja optimikäyttöjen leikkauspisteitä, jotka tämä työ on asettanut. Tarkan tuloksen saavuttamiseksi pitää siis suorittaa useita iteraatiokierroksia, jotta tarkkuus kasvaisi.

On myös huomioitava, että työn tehoalueiden numeerisessa tarkastelussa ei otettu huomioon generaattoreiden koon tai määrän vaikutusta. Myöskään potkurimoottoriin ei puututtu tarkemmin.

Useammalla generaattorilla saataisiin pienempi särötaso generaattorien rinnankäytön seurauksena. Silloin siis kunkin generaattorin suhteellista alkureaktanssia voitaisiin suurentaa, mikä pienentäisi generaattorin kokoa, painoa ja hintaa. Myös päätaulun oikosulkuvirta pienenis, josta saavutettaisiin säästöjä.

Potkurimoottoreista vertailtiin lähinnä oikosulkumoottorin ja tahtikoneen vaikutusta käyttöihin. Kun moottoreista tekee mitoitustutkielman, muuttaa se tässä tutkimuksessa saatuja rajoja vielä jonkin verran. Erityisesti Azipodissa tulee huomioida, että tässä tutkimuksessa käytettäviä mekaanisia vaihteita ei siinä voida käyttää. Azipodissa siis epätahtikonekäytön koko ja paino varmasti laskevat jonkin verran, mutta erityisesti Azipodia varten suunnitellun moottorin hinta on vastaavasti korkeampi.

Tutkittaessa särötasoratkaisuja, voidaan todeta, että mitä suurempia generaattoreita käytetään, sen edullisemmaksi tulee passiivisuodattimien käyttö verrattuna alkureaktanssien suurentamiseen. Passiivisuodattimen käytön huono puoli suurella teholla on kuitenkin se, että syklokonverttereissa on liikkuvia yliaaltoperheitä, jotka aiheuttavat resonointia suodattimissa. Tällöin vartenotettavaksi vaihtoehdoksi tulee 12-pulssinen syklokonvertterikäyttö, vaikka muuntajien osuus tässä vaihtoehdossa vielä korostuu sekä tilavuuden, painon että hinnan kasvuna. Moottorigeneraattoria ei kannata edes harkita muihin kuin pieniin osakäyttöihin laivassa.

Laivan potkurijärjestelmän mitoitus on varsin monimutkainen prosessi. Hyvä käyttö riippuu tarkastelijan näkemyksestä. Asiakkaalla, telakalla ja käytön toimittajalla on varmasti jokaisella omat näkemyksensä asiasta. Lisäksi kaiken pitää tapahtua luokituslaitosten säädösten mukaan.

Lähdeluettelo

Kirjallisuusviitteet

1. ABB Control OY, 1997. MNS suunnitteluopas
pienjännitekojeistot
2. Hirsimäki Rami 1994. Laivan taajuusohjattujen pääpotkurikäyttöjen
vertailu. Diplomityö. Tampere: Tampereen teknillinen
korkeakoulu, sähkötekniikan osasto, 109s.
3. Koskela Mikko & Kajava Mikko Comparison of simulated and measured quantities of a
duplex reactor. Proceedings of the 1997 Finnish workshop
on power and industrial electronics. Espoo, Finland,
26.8.1997, s. 64-68
4. Kyyrä Jorma 1995. Suuntaajatekniikka, Luentomateriaali. Teknillinen
korkeakoulu, Espoo
5. Luomi Jorma 1995. Sähkömekaniikka, Luentomoniste. Teknillinen
korkeakoulu, Espoo, s.2:28
6. Nurmi Jari The Electric concept, Deltamarin LTD, Raisio, Finland,
1995, 17 sivua.
7. Nurmi Jari A Machinery fit for cost-effective ship design, 1st
International Conference on Diesel Electric Propulsion, 20-
23 May, 1996, Ålesund, Norway, s.22
8. Matusiak 1993. Laivan propulsio. Teknillinen korkeakoulu, Espoo,
128 sivua.
9. Lehtonen Matti Harmonics in power systems of ships with electrical
propulsion drives, Valtion Teknillinen tutkimuskeskus,
Espoo, 1996
10. Räisänen Pekka 1997. Laivatekniikka. Modernin laivanrakennuksen
käsikirja. Opetushallitus, Jyväskylä. N.750 s. ISBN 951-
719-821-3
11. Krapp R 1996. Why is increased redundancy needed? Teoksessa:
The Motor Ship 18th Annual International Marine
Propulsion Conference. Redundancy vs Reliability.
Radisson SAS Hotel, Hamburg, Germany. 21.-22.3.1996
s.13-21

-
12. Laukia Kari 1996. The Azipod System – Operational experience and designs for the future. Teoksessa: The Motor Ship 18th Annual International Marine Propulsion Conference. Redundancy vs Reliability. Radisson SAS Hotel, Hamburg, Germany. 21.-22.3.1996 s.78-93
 13. Häkkinen Pentti 1993. Laivan koneistot, Teknillinen korkeakoulu, Espoo. S 237
 14. Niini Mikko Kvaerner Masa-Yards, Seatrade Cruise Shipping Conference, Session III, The Cruise Ship of the Future, Miami, March 9, 1995, Mikko Niini, Kvaerner Masa-Yards Inc., Finland
 15. Fabro Roberto & Passenger comfort on board the luxury cruise vessel
Mantere Juhani Statendam – a new approach to optimizing vibration and noise reduction. The Cruise & Ferry Conference, May 1993. S. 26.
 16. ABB Oy 1998. ABB:n kalvosarja syklokonvertterista
 17. Det Norske Veritas Det Norske Veritas, Rules for Classification, Volume 1, Part 4, Chapter 4E, 1996
 18. Niiranen Jouko 1992. Tahtimoottorin optimointi ja käytettävyys sähkökäytöissä. Teknillinen korkeakoulu, Espoo
 19. ABB Azipod Oy 1998. Azipod Project Guide. S.25. Ei yleisesti saatavilla
 20. Wilthil V Why, where and how? 1st international conference on diesel electric propulsion, a cost effective sollution, 20-23 May, 1996, Ålesund, Norway, Esitelmä 2.
 21. Nordgaard D E Diesel electric propulsion – Definitioning of electrotechnical terms. 1st international conference on diesel electric propulsion, a cost effective sollution, 20-23 May, 1996, Ålesund, Norway, Esitelmä 3.
 22. Kuuskoski Jukka Essential design aspects of an electric propulsion system. 1st international conference on diesel electric propulsion, a cost effective sollution, 20-23 May, 1996, Ålesund, Norway, Esitelmä 4.
 23. Simon P 1996. Diesel electric propulsion for chemical tankers. 1st international conference on diesel electric propulsion, a cost effective sollution, Ålesund, Norway, Esitelmä 11.

- | | |
|---------------------|--|
| 24. Deltamarin Ltd | 1996. Azipod feasibility study for ABB. Deltamarin Ltd, Raisio |
| 25. ABB Transmit Oy | 1997. Muuntajavertailutaulukko, ei yleisesti saatavilla |
| 26. Niemi Eero | 1994. Tilastotieteen perusteet. Aktiivimoniste, Helsinki, 175 s. |
| 27. ABB Industry Oy | 1998. Projektimappi 1, M/S Elation, Helsinki, Ei yleisesti saatavilla |
| 28. Pohjalainen P | 1987. Vuon ja vääntömomentin kaksipistesäätöihin perustuva invertterin välitön ohjaus oikosulkumoottorikäytössä. Diplomityö. Espoo, TKK, 82s |

LÄHDELUETTELO

Haastattelut

- | | |
|-------------------|---|
| 1. Leppänen Timo | 1998. Keskustelu tuotepäällikkö Timo Leppäsen kanssa, ABB Industry Oy, Helsinki |
| 2. Lehtelä Antti | 1998. Keskustelu myynti ja markkinointipäällikkö Antti Lehtelän kanssa, ABB Industry Oy, Helsinki |
| 3. Leikas Veikko | 1998. Keskustelu dipl. ins. Veikko Leikaksen kanssa, ABB Industry Oy, Helsinki |
| 4. Koukkari Juha | 1998. Keskustelu dipl. ins. Juha Koukkarin kanssa, ABB Industry Oy, Helsinki |
| 5. Gango Markus | 1998. Keskustelu dipl. ins. Markus Gangon kanssa, ABB Industry Oy, Helsinki |
| 6. Jaakkola Jouni | 1998. Keskustelu dipl. ins. Jouni Jaakkolan kanssa, ABB Industry Oy, Helsinki |
| 7. Kovanen Panu | 16.6.1998. Tapaaminen Panu Kovanen kanssa, Masa Yards, Helsinki |
| 8. Luoma Veikko | 1998. Puhelinkeskustelu Veikko Luoman kanssa, ABB Control Oy, Vaasa |
| 9. Nurmi Jari | 1998. Puhelinkeskustelu Jari Nurmen kanssa, Delta Marin, Raisio |

-
- | | | |
|-----|---------------------------------|--|
| 10. | Kajava Mikko | 1998. Keskustelu dipl. ins. Mikko Kajavan kanssa, ABB Industry Oy, Helsinki |
| 11. | Koskela Mikko | 1998. Keskustelu dipl. ins. Mikko Koskelan kanssa, ABB Industry Oy, Helsinki |
| 12. | Hentunen Erkki | 1998. Keskustelu Erkki Hentusen kanssa, ABB Industry Oy, Helsinki |
| 13. | Ijäs Jari | 1998. Keskustelu dipl. ins. Jari Ijäksen kanssa, ABB Industry Oy, Helsinki |
| 14. | Mantere Juhani & Jaakkola Jouni | 1998. Haastattelu: Juhani Mantere ja Jouni Jaakkola, ABB Industry Oy, Helsinki |
| 15. | Pohjalainen Pasi | 1998. Haastattelu: Pasi Pohjalainen, ABB Industry Oy, Helsinki |
| 16. | Virtanen Esa | 15.6.1998. Haastattelu: Esa Virtanen, ABB Oy, Vaasa |
| 17. | Laine Sakari | 15.6.1998. Haastattelu: Sakari Laine, ABB Oy, Vaasa |
| 18. | Lepo Pekka | 1998. Keskustelu dipl. Ins. Pekka Levon kanssa, ABB Industry Oy, Helsinki |
| 19. | Wilhelmson Max | 1998. Keskustelu dipl. ins. Max Wilhelmsonin kanssa, ABB Azipod Oy, Helsinki |
| 20. | Pasanen Martti | 14.7.1998. Puhelinkeskustelu ja tuotetarjous. Martti Pasanen, Valmet Power Transmission Inc. Jyväskylä |
| 21. | Laakso Matti | 1998. Keskustelu dipl. ins. Matti Laakson kanssa, ABB Industry Oy, Helsinki |
| 22. | Tarula Tuomo | 1998. Puhelinkeskustelu dipl. Ins. Tuomo Tarulan kanssa, ABB Industry Oy, Helsinki |
| 23. | Mikkola Mika & Kajava Mikko | 1998. Keskustelu dipl. ins. Mika Mikkolan ja Mikko Kajavan kanssa, ABB Industry Oy, Helsinki |
| 24. | Liljeström Curt | 1998. Keskustelu dipl. ins. Curt Liljeströmin kanssa, ABB Industry Oy, Helsinki |
| 25. | Lemberg Pentti | 1998. Keskustelu Pentti Lembergkin kanssa, ABB Industry Oy, Helsinki |

Liite 1 Generaattorit

Taulukko L1 *Esimerkkigeneraattorit. Syöttötaajuus=60Hz, jännite=6600V. Alku-reaktanssin yhden prosenttiyksikön muutos aiheuttaa noin 5% kasvun tilavuudessa. Tässä esitetään yksinkertaistettuna oletus, että tilavuusriippuvuus on suoraan verrannollinen paino- ja hintariippuvuuteen. Taulukossa kyseiset arvot numeerisina esimerkkigeneraattoreilla. /Jaakkola, 1998/*

Tyyppi	Teho (kVA)/ $\cos\varphi$	Pyöri- misno- peus/ Navat	$\frac{x_d'' / (x_d'' + x_q'')}{2}$	Pituus/ Leveys/ Korkeus (m)	Gene- raat- torin tila- vuus (m ³)	Gene- raat- torin paino (kg)	Gene- raat- torin hinta- indeksi	Tila- vuus 5% (m ³)	Paino 5% (kg)	Hinta- indeksi 5%
AMG900 MP10	4 389/ 0,85	720/10	0,144/ 0,148	3,575/ 2,028/ 3,03	21,97	20 300	176,2	1,10	1 015	8,81
AMG900 LR10	4974/ 0,85	720/10	0,146/ 0,149	3,775/ 2,028/ 3,03	23,20	21 700	185,6	1,16	1 085	9,28
AMG1250 PP10	9752/ 0,85	720/10	0,135/ 0,139	3,77/ 3,5/ 3,15	41,56	34 600	325,4	2,08	1 730	16,27
AMG1250 UU14	9752/ 0,85	514/14	0,143/ 0,145	4,22/ 3,5/ 3,15	46,53	43 600	386,4	2,33	2 180	19,32
AMG1600 PP14	11053/ 0,85	514/14	0,141/ 0,142	3,95/ 4,2/ 4,18	69,35	52 200	390,8	3,47	2 610	19,54
AMG1120 MP10	6925/ 0,75	720/10	0,148/ 0,150	3,575/ 2,528/ 3,44	31,09	31 600	258,0	1,55	1 580	12,90
AMG1120 LR10	7849/ 0,75	720/10	0,149/ 0,151	3,775/ 2,528/ 3,44	32,83	33 500	273,6	1,64	1 675	13,68
AMG1600 TT14	14840/ 0,7	514/14	0,138/ 0,140	4,3/ 4,2/ 4,18	75,49	61 800	448,8	3,77	3 090	22,44
AMG1600 UU14	16818/ 0,7	514/14	0,144/ 0,146	4,4/ 4,2/ 4,18	77,25	65 000	460,8	3,86	3 250	23,04

Liite 2 Päätaulut

Taulukko L2.1 *MHS-pienjännitekojeisto (Matalajännitepäätaulu) ABB SACE FIS-katkaisija. Jos kojeiston virran suuruus on alle 1250A, voidaan katkaisijoita asentaa kaksi jokaiseen kaappiin /Luoma, 1998/*

Yhden kentän Pituus/ Syvyys/ Korkeus/ (m)	Yhden kentän tilavuus (m ³)	Yhden kentän paino, kun virta I>1250A (kg) (1 katkaisija)	Kahden kentän paino, kun virta I<1250A (kg) (2 katkaisijaa/ kaappi)	Yhden generaattori-syöttökentän hinta-indeksi	Yhden lähdön hinta-indeksi	Taulun max terminen oikosulkuvirta (A)	Taulun max dynaaminen oikosulkuvirta (A)	Katkaisijan max terminen oikosulkuvirta (A) ABB SACE FIS	Katkaisijan max dynaaminen oikosulkuvirta (A)
2,2/ 1,0/ 1,2	2,64	550	700	8,0	6,0	75 000	165 000	45 000	120 000

Taulukko L2.2 *Välijännitepäätaulu (SF6-katkaisija) /Leppänen, 1998/*

Yhden kentän kokonaispituus, kun I<2000A/ I>2000A (m)	Syvyys/ Korkeus (m)	Mittakentän paino/ Katkaisijakentän paino (kg)	Mittakentän hinta-indeksi	Kiskokatkaisijakentän hinta-indeksi	Generaattori-katkaisijakentän hinta-indeksi	Syklokatkaisijakentän hinta-indeksi	Mega-Starkatkaisijakentän hinta-indeksi	Väli-muuntaja-Mega-Starkatkaisijakentän hinta-indeksi	Väli-muuntaja-Syklokatkaisijakentän hinta-indeksi	Kojeiston 25kA => 40kA (1s) lisähinta-indeksi / katkaisija
0,8/ 1,0	1,535/ 2,288	600/ 900	25,0	39,0	43,0	30,0	31,0	28,0	33,0	3,0

Hintaan vaikuttaa apulaitteiden määrä.

Lisäksi päätaulun hintoihin tulee luokituslaitosten hyväksymishinnat (Ei huomioida tutkimuksessa)

Liite 3 Muuntajat

Taulukko L3.1 *Nelikäämiset syklokonvertterimuuntajat. Toisioteho tarkoittaa yhden tosion tehoa. Jäähdytys: neste /ABB Transmit Oy, Smedman, 1998/*

Ensiö-/Toisio-teho (kVA)	Moottori-teho 1570V syklolle (kW)	Moottori-teho 1870V syklolle (kW)	Ensiö-/Toisio-jännite (V)	Pituus/Syvyys/Korkeus (m)	Tilavuus (m ³)	Paino (kg) (nesteen kanssa)	Hinta-indeksi
13 200/4 400	7 538	8 978	6 600/1 000	4,00/2,86/2,46	28,14	15 800	164,0
15 300/5 100	8 737	10 406	11 000/1000	4,00/2,90/2,70	31,32	17 300	180,0
16 550/5 517	9 451	11 256	11 000/1000	4,00/2,86/2,66	30,43	21 000	200,0
18 000/6 000	8 565	10 202	11 000/1200	4,23/3,02/2,80	35,77	21 500	220,0
19 500/6 500	9 279	11 052	11 000/1200	4,12/2,96/2,80	34,15	19 800	250,0

Taulukko L3.2 *ACS600-, SAMI MegaStar- ja PWM-tahtikoneoptiomuuntajat /ABB Transmit Oy, Laine, 1998/*

Suuntaaja- tyyppi/Pulssiluku	Ensiö-/Toisio-teho (kVA)	Moottori-teho (kW)	Ensiö-/Toisio-jännite (V)	Suo-jaus-luok-ka	Pituus/Syvyys/Korkeus (m)	Tila-vuus (m ³)	Paino (kg)	Hinta-indeksi
ACS600/12	3 750/1 875	2 748	6 600/630	IP21	2,73/2,06/3,60	20,22	9 250	107,0
ACS600/6	3 800/3 800	2 785	6 600/630	IP21	2,85/2,10/3,40	20,33	8 200	87,0
ACS600/12	3 200/1 600	2 345	6 600/690	IP00	2,61/2,02/3,60	18,96	7 500	102,8
SAMI MegaStar/12	9 500/4 750	6 962	6 600/1 725	neste	3,63/3,18/3,69	42,60	15 000	141,0
SAMI MegaStar/6	9 500/9 500	6 962	6 600/3 450	neste	3,63/3,18/3,69	42,60	15 000	139,4
SAMI MegaStar/6 (tai) PWM-Tahtikone-optio/6	4 000/4 000	2 931	6 600/3 450	neste	1,98/2,50/2,02	10,00	9 000	99,0
PWM-Tahtikone-optio/6	9 500/9 500	6 962	6 600/3 450	neste	3,63/3,18/3,69	42,60	15 000	139,4
PWM-Tahtikone-optio/6	11 700/11 700	8 574	6 600/3 450	neste	3,63/3,18/3,79	43,75	17 500	152,0

Taulukko L3.3 *Kertoimet verrattuna Mora:n muuntajiin*

Suuntaajatyyppe	Tilavuus-kerroin	Paino-kerroin	Hinta-indeksi-kerroin
SAMI MegaStar: ABB/Mora (IP23)	1,5	0,7	1,3
ACS600: ACS600 (ABB)/SAMI MegaStar (Mora) (IP23)	1,4	1,0	2,5

Taulukko L3.4

*Kolmikäämi-SAMI MegaStar-muuntajat. Suojausluokka IP00.
Jännitteet: 6 600/1725V /Mora Oy, 1998/*

Ensiöteho/ Toisioteho (kVA)	Moottori- teho (kW)	Pituus/ Syvyys/ Leveys (m)	Tilavuus (m ³)	Paino (kg)	Hinta- indeksi
2 200/1 100	1 612	1,890/1,280/2,100	5,08	5 300	33,1
2 700/1 350	1 933	2,020/1,285/2,100	5,45	6 150	36,1
3 600/1 800	2 578	2,140/1,285/2,300	6,32	8 250	45,7
4 300/2 150	3 079	2,260/1,285/2,400	6,97	9 600	53,8
5 000/2 500	3 580	2,320/1,285/2,470	7,36	10 500	62,2
5 500/2 750	3 938	2,380/1,285/2,570	7,86	11 300	66,2
6 200/3 100	4 439	2,490/1,285/2,660	8,51	13 300	73,6

Taulukko L3.5

*Kolmikäämi-SAMI MegaStar-muuntajat. Suojausluokka IP23.
Jännitteet: 6 600/1725V /Mora Oy, 1998/*

Ensiöteho/ Toisioteho (kVA)	Moottori- teho (kW)	Pituus/ Syvyys/ Leveys (m)	Tilavuus (m ³)	Paino (kg)	Hinta- indeksi
2 200/1 100	1 612	2,400/1,660/2,400	9,56	6 000	38
2 700/1 350	1 933	2,400/1,660/2,400	9,56	6 850	41
3 600/1 800	2 578	2,550/1,760/2,700	12,12	9 030	51
4 300/2 150	3 079	2,800/1,900/2,900	15,43	10 440	61
5 000/2 500	3 580	2,800/1,900/2,900	15,43	11 340	69
5 500/2 750	3 938	2,900/1,900/3,000	16,53	12 210	74
6 200/3 100	4 439	3,000/2,000/3,100	18,60	14 300	83

Taulukko L3.6

*14MW Azipod-muuntajavertailu 26,4MVA:n
kokonaisteholle/ABB Transmit Oy, 1997/*

	6*4 400 kVA kuivamuuntaja	2*13 200 kVA kuivamuuntaja	2*13 200 kVA nestemuuntaja
Teho yhteensä (kVA)	26400	26400	26400
kpl	6	2	2
Jäähdytys	AN	AFWF	KFWF
IP	00	44	54
Paino/yksikkö (kg)	7 150	19 000	16 950
Paino Yhteensä	42 900	38 000	33 900
Tilan käyttö lattia (m ²)	6*3	2*12,8	2*8,7
Tilan käyttö yhteensä (m ²)	56	54	36
Korkeus (m)	2,2	3,64	2,5
Lattiapinta-ala (m ²)	3	12,8	8,7
Pituus- ja leveysarvio (m)	1,73	3,58	2,95
Tilavuus/muuntaja (m ³)	6,6	46,592	21,75
Kokonaistilavuus (m ³)	39,6	93,184	43,5
Suhteellinen hinta	1	0,8	0,6
Häviöt (kW)	216	231,2	223,8

Liite 4 Kuristimet

Taulukko L4.1a *Kommutointikuristimet /Lemberg, 1998/*

Potkuri- moottori- teho (kW)	Teho (kVA)	Virta (A)/ vaihe	Induk- tanssi (mH)	Jännite kuris- timen yli(V)	Pituus/ Syvyys/ Leveys (m)	3xkuris- timen Tilavuus (m ³)	3xKuris- timen Paino (kg)
10000	367,45	570	1,0	214,9	3,36/ 1,12/ 2,23	8,39	8 100
20000	618,87	1200	0,4	171,9	3,36/ 1,22/ 2,23	9,14	8 950

Vakiopaketti arvioidaan:

Taulukko L4.1b *Vakiokommutointikuristimet /Lehtelä, 1998/*

3xkuris- timen Tilavuus (m ³)	3xkuris- timen Paino (kg)	Hinta- indeksi
10,0	9 000	120,0

Taulukko L4.2a *Nollakuristimet /Lemberg, 1998/*

Potkuri- moottori- teho (kW)	Teho (kVA)	Virta (A)/ vaihe	Induk- tanssi (mH)	Nolla- virta (A) rms	Jännite kuris- timen yli(V)	Yht Pituus (m)	Syvyys/ Korkeus / (m)	Kuristin- paketin tilavuus (m ³)	Kuristin- paketin paino (kg)
10 000	1781	700	15	200	848	1,47	1,37/ 2,75	5,54	3 480
20 000	4280	1450	8	435	984	1,85	1,83/ 2,55	8,63	5 640

Taulukko L4.2b *Vakionollakuristimet /Lehtelä, 1998/*

Kuristin- paketin Tilavuus (m ³)	Kuristin- paketin Paino (kg)	Kuristin- paketin Hinta- indeksi
9,0	6 000	140,0

Liite 5 Vaihteet

Taulukko L5.1

*Kaksisyöttöiset horisontaalivaihteet /Valmet Power
Transmission Inc, 1998/*

Vaihte:	Mootoriteho (kW)	Potkuriteho (kW) (Ei huomioida potkurin hyötysuhdetta)	Mootorin/Potkurin Pyörimisnopeus RPM	Välitysuhde	Mootorin vääntömomentti maksimiteholla (kNm)	Maksimityöntövoima (kN)	Pituus/Syvyys/Korkeus (m)	Tilavuus (m ³)	Paino (kg)	Hinta (indeksi)
M2HL-1500	2x4250	8500	1200/160	7,5	34	800	4,75/ 2,21/ 2,90	30,4	18000	272
M2HL-1600	2x5500	11000	1200/160	7,5	44	1050	5,00/ 2,21/ 3,10	34,3	22000	322
M2HL-1600	2x4250	8500	720/105	6,9	56	800	4,2/ 2,42/ 3,10	31,5	26000	456
M2HL-1600	2x5500	11000	720/105	6,9	73	1050	5,00/ 2,52/ 3,20	40,2	30000	510

Taulukko L5.2

*Vertailutaulukko yksisyöttöiset vs. kaksisyöttöiset vaihteet
/Franzrail, 1998/*

Potkuriteho (kW)	Mootorin/Potkurin nopeus (RPM)	Potkurin nopeus (RPM)	Vääntömomentti (kNm)	Syöttötapa	Välitysuhde	Pituus (m)	Tilavuus (m ³)	Paino (kg)	Hinta-indeksi
4000	900/143	143	267,1	2*2000	6,3	4,1/ 2,1/ 2,8	24,108	12 500	190
4000	900/143	143	267,1	1*4000	6,3	2,2/ 2,3/ 2,1	10,626	12 500	190
4350	750/130	130	319,5	2*2175	5,8	4,1/ 2,1/ 2,8	24,108	12 500	190
4350	750/130	130	319,5	1*4350	5,8	2,2/ 2,3/ 2,1	10,626	12 500	190

Liite 6 Suuntaajat

Taulukko L6.1

ACS600-suuntaajat /ABB Oy, 1998/

Pulssi-luku	Potkuri-moottori-teho (kW) cosφ=0,85, moottorin hyötysuh- de=0,95 varmuusk: 0,9	Antoteho (kVA) 45°C	Kokonais- pituus/ Syvyys/ Korkeus (m)	Tilavuus (m ³)/ Paino (kg)/ Hinta- indeksi	Jarru- kat- kojan pituus (m)/ Paino (kg)/ Hinta- indeksi	Koko- nais- tilavuus Jarru- katkojan kanssa (m ³)	Paino Yhteensä Jarru- katkojan kanssa (kg)	Koko- nais- hinta- indeksi jarru- katkojan kanssa
6	1 150	1 582	4,8/ 0,6/ 2,13	6,13/ 2 920/ 117,9	1,2/ 340/ 6,1	7,67	3 260	124,0
12	1 150	1 582	6,4/ 0,6/ 2,13	8,18/ 3 720/ 117,9	1,2/ 340/ 6,1	9,71	4 060	124,0
6	1 429	1 966	5,8/ 0,6/ 2,13	7,41/ 3 620/ 128,5	1,2/ 340/ 6,1	8,95	3 960	134,6
12	1 429	1 966	7,4/ 0,6/ 2,13	9,46/ 4 420/ 146,5	1,2/ 340/ 6,1	10,99	4 760	152,6
6	1 711	2 354	5,8/ 0,6/ 2,13	7,41/ 3 620/ 142,0	1,2/ 340/ 6,1	8,95	3 960	148,1
12	1 711	2 354	7,4/ 0,6/ 2,13	9,46/ 4 420/ 160,0	1,2/ 340/ 6,1	10,99	4 760	166,1
6	1 882	2 590	6,8/ 0,6/ 2,13	8,69/ 4 120/ 167,5	1,2/ 340/ 6,1	10,22	4 460	173,6
12	1 882	2 590	8,4/ 0,6/ 2,13	10,74/ 4 920/ 177,8	1,2/ 340/ 6,1	12,27	5 260	183,9
12	2 252	3 099	8,4/ 0,6/ 2,13	10,74/ 5 520/ 228,8	1,2/ 340/ 6,1	12,27	5 860	234,9
12	2 608	3 589	10,6/ 0,6/ 2,13	13,55/ 6 920/ 261,1	1,2/ 340/ 6,1	15,08	7 260	267,2
12	3 455	4 755	10,6/ 0,6/ 2,13	13,55/ 6 920/ 288,9	1,2/ 340/ 6,1	15,08	7 260	295,0

Taulukko L6.2

SAMI MegaStar-suuntaajat /ABB Oy, 1998/

Puls- si- luku	Potkuri- moottori- teho (kW) cosφ=0,85, moottorin hyötysuh- de=0,95 varmuusk: 0,9	Antoteho (kVA)	Kokonais- pituus/ Syvyys/ Korkeus (m)	Tilavuus (m ³)/ Paino (kg)/ Hinta- indeksi	Jarru- kat- kojan pituus (m)/ Paino (kg)/ Hinta- indeksi	Koko- nais- tilavuus Jarru- katkojan kanssa (m ³)	Paino Yhteensä Jarru- katkojan kanssa (kg)	Koko- nais- hinta- indeksi Jarru- katkojan
6	1 454	2 000	3,852/ 1,24/ 2,238	10,69/ 3 500/ 190,0	0,52/ 500/ 30,0	12,13	4 000	220,0
12	1 454	2 000	3,852/ 1,24/ 2,238	10,69/ 3 500/ 190,0	0,52/ 500/ 30,0	12,13	4 000	220,0
24	1 454	2 000	4,672/ 1,24/ 2,238	12,97/ 4 300/ 190,0	0,52/ 500/ 30,0	14,41	4 800	220,0
6	2 289	3 150	3,852/ 1,24/ 2,238	10,69/ 3 700/ 220,0	0,52/ 500/ 30,0	12,13	4 200	250,0
12	2 289	3 150	3,852/ 1,24/ 2,238	10,69/ 3 700/ 220,0	0,52/ 500/ 30,0	12,13	4 200	250,0
24	2 289	3 150	4,672/ 1,24/ 2,238	12,97/ 4 500/ 220,0	0,52/ 500/ 30,0	14,41	5 000	250,0
6	3 634	5 000	4,372/ 1,24/ 2,238	12,13/ 4 100/ 240,0	0,52/ 500/ 30,0	13,58	4 600	270,0
12	3 634	5 000	4,372/ 1,24/ 2,238	12,13/ 4 100/ 240,0	0,52/ 500/ 30,0	13,58	4 600	270,0
24	3 634	5 000	5,172/ 1,24/ 2,238	14,35/ 4 900/ 240,0	0,52/ 500/ 30,0	15,80	5 400	270,0
6	4 579	6 300	6,592/ 1,24/ 2,238	18,29/ 6 500/ 360,0	0,52/ 500/ 30,0	19,74	7 000	390,0
12	4 579	6 300	6,592/ 1,24/ 2,238	18,29/ 6 500/ 360,0	0,52/ 500/ 30,0	19,74	7 000	390,0
24	4 579	6 300	7,412/ 1,24/ 2,238	20,57/ 7 300/ 360,0	0,52/ 500/ 30,0	22,01	7 800	390,0
6	7 268	10 000	7,932/ 1,24/ 2,238	22,01/ 7 700/ 440,0	0,52/ 500/ 30,0	23,46	8 200	470,0
12	7 268	10 000	7,932/ 1,24/ 2,238	22,01/ 7 700/ 440,0	0,52/ 500/ 30,0	23,46	8 200	470,0
24	7 268	10 000	7,932/ 1,24/ 2,238	22,01/ 7 700/ 440,0	0,52/ 500/ 30,0	23,46	8 200	470,0

Taulukko L6.3

PWM-tahtikoneoptiosuuntaajat /ABB Oy, 1998/

Pulssi- luku/ D= diodi/ L= LRU/ A= AFU	Potkuri- moottori- teho (kW) cosφ=1,0, moottorin hyötysuh- de=0,95 varmuusk: 0,9	Antoteho (kVA)	Kokonais- pituus/ Syvyys/ Korkeus (m)	Tilavuus (m ³)/ Paino (kg)/ Hinta- indeksi	Jarru- kat- kojan pituus (m)/ Paino (kg)/ Hinta- Indeksi	Koko- nais- tilavuus Jarru- katkojan kanssa (m ³)	Paino Yhteensä Jarru- katkojan kanssa (kg)	Koko- nais- hinta- indeksi Jarru- katkojan
6/D	5 130	6 000	6,2/ 1,0/ 2,0	12,40/ 3 500/ 240,0	0,52/ 500/ 50,0	13,44	4 000	290,0
6/L	5 130	6 000	7/ 1,0/ 2,0	14,00/ 4 000/ 309,2	0,52/ 500/ 50,0	15,04	4 500	359,2
6/A	5 130	6 000	7,4/ 1,0/ 2,0	14,80/ 4 000/ 340,0	0,52/ 500/ 50,0	15,84	4 500	390,0
6/D	7 695	9 000	6,2/ 1,0/ 2,0	12,40/ 3 500/ 335,2	0,52/ 500/ 50,0	13,44	4 000	385,2
6/L	7 695	9 000	7/ 1,0/ 2,0	14,00/ 4 000/ 473,6	0,52/ 500/ 50,0	15,04	4 500	523,6
6/A	7 695	9 000	7,4/ 1,0/ 2,0	14,80/ 4 000/ 415,2	0,52/ 500/ 50,0	15,84	4 500	465,2
12/D	10 260	12 000	11,0/ 1,0/ 2,0	22,00/ 6 000/ 460,6	0,52/ 500/ 50,0	23,04	6 500	510,6
12/L	10 260	12 000	12,4/ 1,0/ 2,0	24,80/ 7 000/ 668,2	0,52/ 500/ 50,0	25,84	7 500	718,2
12/A	10 260	12 000	13,2/ 1,0/ 2,0	26,40/ 7 000/ 652,6	0,52/ 500/ 50,0	27,44	7 500	702,6
12/D	15 390	18 000	10,8/ 1,0/ 2,0	21,60/ 6 000/ 619,6	0,52/ 500/ 50,0	22,64	6 500	669,6
12/L	15 390	18 000	12,4/ 1,0/ 2,0	24,80/ 7 000/ 871,4	0,52/ 500/ 50,0	25,84	7 500	921,4
12/A	15 390	18 000	13,2/ 1,0/ 2,0	26,40/ 7 000/ 767,6	0,52/ 500/ 50,0	27,44	7 500	817,6

Taulukko L6.4

Muuntajakytkentäiset syklokonvertterit /ABB Oy, 1998/

Tyyppi	Potkuri- moottori- teho (kW) cosφ=1,0, moottorin hyötysuhde= 0,95 varmuusk=0,9	Antoteho (kVA)	Kokonais- pituus/ Syvyys/ Korkeus (m)	Tilavuus (m ³)	Paino (kg)	Hinta- indeksi
Syöttö 1000V, moottoriin 1570V: 6-pulssi	7500	8 772	6,45/ 1,2/ 2,3	17,80	5 600	400,0
Syöttö 1000V, moottoriin 1570V: 6-pulssi	9000	10 526	6,45/ 1,3/ 2,3	19,29	6 200	430,0
Syöttö 1000V, moottoriin 1570V: 12-pulssi	15 000	17 544	10,5/ 1,2/ 2,3	28,98	10 000	660,0
Syöttö 1000V, moottoriin 1570V: 12-pulssi	18 000	21 053	10,5/ 1,3/ 2,3	31,40	10 800	700,0
Syöttö 1200V, moottoriin 1870V: 6-pulssi (NTY)	11 000	12 865	6,6/ 1,3/ 2,3	19,73	6 700	380,0
Syöttö 1200V, moottoriin 1870V: 12-pulssi (NTY)	22 000	25 731	10,8/ 1,3/ 2,3	32,29	12 000	600,0

Taulukko L6.5

Välijännitesyklokonvertterit /ABB Oy, 1998/

Tyyppi	Potkuri- moottori- teho (kW) cosφ=1,0, moottorin hyötysuhde=0,95 varmuusk=0,9	Antoteho (kVA)	Kokonais- pituus/ Syvyys/ Korkeus (m)	Tilavuus (m ³)	Paino (kg)	Hinta- indeksi
Moot. Jännite max9000V	15 000	17 544	9,92/ 1,25/ 2,556	31,69	8 900	1150,0
Moot. Jännite max9000V	25 000	29 240	9,92/ 1,25/ 2,556	31,69	9 900	1230,0

Liite 7 Kemikaalitankkerikäytöt

Taulukko L7.1 Kemikaalitankkerioletukset

KEMIKAALITANKKERI					
Potkurin nopeus (RPM)	100				
Omega w	10,47				
Generaattoriteho / Potkuriteho syklo	1,5	(cos fii=0,75)			
Potkurien lukumäärä	1				
Generaattorien lukumäärä	4				

Taulukko L7.2 Kemikaalitankkerin 6-pulssinen ACS600-vakiokäyttö. Tummennetulla alueella päätaulun virtaraja ylitetään, joten käyttö ei ole mahdollinen.

	KÄYTTÖ					
	Minimipiste	Piste 2	Piste 3	Piste 4	Piste 5	Maksimipiste
Potkuriteho (kW)	1 454	1 890	2 326	2 907	3 343	3 634
Minimipotkuriteho (kW)	1 400					
Maksipotkuriteho (kW) (Päätaulu)	3 300					
ACS600-6-pulssi (kVA)	1 000	1 300	1 600	2 000	2 300	2 500
Käytettävä suuntaaja (kVA)	1 582	1 582	1 966	2 354	2 354	2 590
Suuntaajan tilavuus (m^3)	7,7	7,7	8,9	8,9	8,9	10,2
Suuntaajan paino (kg)	3 260	3 260	3 960	3 960	3 960	4 460
Suuntaajan hintaindeksi	124,0	124,0	134,6	148,0	148,0	173,6
Generaattoriteho Yht. (kVA)	2 786	3 622	4 458	5 573	6 409	6 966
Yhden generaattorin teho (kVA)	697	906	1 115	1 393	1 602	1 741
Yhden generaattorin virta (A)	583	758	933	1 166	1 341	1 457
cos fii	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Xd"	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Moottoriteho (kW)	727	945	1 163	1 454	1 672	1 817
Moottorivirta (A)	793	1 031	1 268	1 585	1 823	1 982
Moottorien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Päätaulu	MHS-pienjännite	MHS-pienjännite	MHS-pienjännite	MHS-pienjännite	MHS-pienjännite	MHS-pienjännite
Päätaulun jännite (V)	690	690	690	690	690	690
P-moottorin ottama virta (A)	793	1 031	1 268	1 585	1 823	1 982
Kiskoston maksimivirta (A)	1 749	2 273	2 798	3 497	4 022	4 372
Oikosulkuvirta (A)	15 543	20 206	24 869	31 086	35 749	38 856
Oikosulkuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Päätaulukentät:	Generaattoritulot	4	Redundanssi	2	Hotellijärjestelmä	2
	Suuntaajalähdöt	2	Magnetointi	0	Suodatus (M/G)	2
	Päätaulun jako	1	Mittauskentät	2	(arvioitu kokokatkaisu)akentän hinnaksi	
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätaulun tilavuus (m^3)	21,1	21,1	39,6	39,6	39,6	39,6
Päätaulun paino (kg)	5 450	5 450	8 250	8 250	8 250	8 250
Päätaulun hintaindeksi	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0
Muuntaja (kVA)	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole
Vaihte						
Moottorin vääntömomentti P=wT => T=P/w (kNm)	9,91	12,89	15,86	19,83	22,80	24,79
Vaihteen välityssuhde	7	7	7	7	7	7
Vaihteen tilavuus (m^3)	28,1	28,9	29,6	30,6	31,3	31,9
Vaihteen paino (kg)	12 600	13 500	14 400	15 700	16 600	17 200
Vaihteen hintaindeksi	184,8	202,8	221,0	245,0	263,2	275,2
Käytön tilavuus (m^3)	64,6	65,3	87,1	88,1	88,8	91,9
Käytön paino (kg)	24 600	25 500	30 600	31 900	32 800	34 400
Käytön hintaindeksi	530,8	548,8	588,2	639,0	657,2	720,4
Tilavuus/potkuriteho (m^3/W)	44,4	34,6	37,4	30,3	26,6	25,3
Paino/potkuriteho (kg/kW)	16,9	13,5	13,2	11,0	9,8	9,5
Hintaindeksi/potkuriteho (/W)	365,2	290,4	252,9	219,8	196,6	188,3

Taulukko L7.3 Kemikaalitankkerin 12-pulssinen ACS600-vakiokäyttö

	KÄYTTÖ					
	Minimipiste	Plate 2	Plate 3	Plate 4	Plate 5	Maksimipiste
Potkuriteho (kW)	1 454	2 616	3 634	4 797	5 814	6 911
Minimipotkuriteho (kW)	1 400					
Maksipotkuriteho (kW) (Suuntaaja)	6 911					
ACS600-12-pulssi (kVA)	1 000	1 800	2 500	3 300	4 000	4 755
Käytettävä suuntaaja (kVA)	1 582	1 966	2 590	3 589	4 755	4 755
Suuntaajan tilavuus (m ³)	9,7	11,0	12,3	15,1	15,1	15,1
Suuntaajan paino (kg)	4 000	4 760	5 260	7 260	7 260	7 260
Suuntaajan hintaindeksi	124,0	152,6	183,8	267,2	295,0	295,0
Generaattoriteho (kVA)	2 786	5 015	6 966	9 195	11 146	13 249
Yhden generaattorin teho (kVA)	697	1 254	1 741	2 299	2 786	3 312
Yhden generaattorin virta (A)	122	219	305	402	487	580
Cos ϕi	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Xd"	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Moottoriteho (kW)	727	1 308	1 817	2 398	2 907	3 456
Moottorivirta (A)	1 585	2 854	3 964	5 232	6 342	7 539
Moottorien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Päätaulu	MHS-pienjännite	MHS-pienjännite	MHS-pienjännite	MHS-pienjännite	MHS-pienjännite	MHS-pienjännite
Päätaulun jännite (V)	3 300	3 300	3 300	3 300	3 300	3 300
P-moottorin ottama virta (A)	166	298	414	547	663	788
Kiskoston maksimivirta (A)	366	658	914	1 207	1 462	1 739
Oikosulkuvirta (A)	3 250	5 850	8 125	10 725	13 000	15 453
Oikosulkuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Päätaulukentät:	Generaattoritulot	4	Redundanssi	2	Hotelli-järjestelmä	2
	Suuntaajalahdot	2	Magneittointi	0	Suodatus (M/G)	2
	Päätaulun jako	1	Mittauskentät	2	(arvioitu kiskokatselujakentien hinnaksi)	2
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätaulun tilavuus (m ³)	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1
Päätaulun paino (kg)	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900
Päätaulun hintaindeksi	541,0	541,0	541,0	541,0	541,0	541,0
Muuntaja (kVA)	1000	2000	2500	3500	4000	5000
Muunto-suhte	9,57	9,57	9,57	9,57	9,57	9,57
Yliaaltokerroin	0,90	0,87	0,87	0,85	0,85	0,85
Vertailukokokerroin						
Tilavuus	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Paino	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Hinta	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
Muuntajan tilavuus (m ³)	11,2	14,4	15,8	19,0	20,6	23,9
Muuntajan paino (kg)	3 700	5 800	6 700	8 800	9 900	12 000
Muuntajan hintaindeksi	61,8	89,6	102,3	130,4	144,5	172,6
Vaihe						
Moottorin vääntömomentti P=wT => T=P/w (kNm)	9,91	17,85	24,79	32,72	39,66	47,14
Vaihteen välityssuhde	7	7	7	7	7	7
Vaihteen tilavuus (m ³)	28,1	30,1	31,8	33,8	35,6	37,4
Vaihteen paino (kg)	12 600	15 100	17 200	19 600	21 700	24 000
Vaihteen hintaindeksi	184,8	233,0	275,2	323,4	365,6	411,2
Käytön tilavuus (m ³)	112,1	123,0	130,2	144,2	149,2	157,4
Käytön paino (kg)	41 000	49 100	54 000	64 600	68 900	75 400
Käytön hintaindeksi	1097,4	1258,4	1388,4	1659,6	1785,6	1887,4
Tilavuus/potkuriteho (m ³ /W)	77,1	47,0	35,8	30,1	25,7	22,8
Paino/potkuriteho (kg/kW)	28,2	18,8	14,9	13,5	11,9	10,9
Hintaindeksi/potkuriteho (/W)	755,0	481,0	382,1	346,0	307,1	273,1

Taulukko L7.4 Kemikaalitankkerin 6-pulssinen SAMI MegaStar-vakiokäyttö

	KÄYTTÖ					
	Minimipiste	Plate 2	Plate 3	Plate 4	Plate 5	Maksimipiste
Potkuriteho (kW)	2 035	4 070	6 686	9 157	11 919	14 535
Minimipotkuriteho (kW)	2 000					
Maksipotkuriteho (kW) (Moottori)	16 000					
SAMI MegaStar-6-pulssi (kVA)	1 400	2 800	4 600	6 300	8 200	10 000
Käytettävä suuntaaja (kVA)	2 000	3 150	5 000	6 300	10 000	10 000
Suuntaajan tilavuus (m ³)	12,1	12,1	13,6	19,7	23,5	23,5
Suuntaajan paino (kg)	4 000	4 200	4 600	7 000	8 200	8 200
Suuntaajan hintaindeksi	220,0	250,0	270,0	390,0	470,0	470,0
Generaattoriteho (kVA)	3 901	7 802	12 817	17 554	22 848	27 864
Yhden generaattorin teho (kVA)	975	1 950	3 204	4 389	5 712	6 966
Yhden generaattorin virta (A)	171	341	561	768	999	1 219
Cos ϕi	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Xd"	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Moottoriteho (kW)	1017,45	2034,90	3343,05	4578,53	5959,35	7267,50
Moottorivirta (A)	232,05	464,09	762,43	1044,20	1359,12	1657,46
Moottorien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Päätaulu	Vaijannitepäätaulu	Vaijannitepäätaulu	Vaijannitepäätaulu	Vaijannitepäätaulu	Vaijannitepäätaulu	Vaijannitepäätaulu
Päätaulun jännite (V)	3300	3300	3300	3300	3300	3300
P-moottorin ottama virta (A)	232	464	762	1044	1359	1657
Kiskoston maksimivirta (A)	512	1024	1682	2303	2998	3656
Oikosulkuvirta (A)	4550	9100	14950	20475	26649	32499
Oikosulkuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Päätaulukentät:	Generaattoritulot	4	Redundanssi	2	Hotelli-järjestelmä	2
	Suuntaajalahdot	2	Magneittointi	0	Suodatus (M/G)	2
	Päätaulun jako	1	Mittauskentät	2	(arvioitu kiskokatselujakentien hinnaksi)	2
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätaulun tilavuus (m ³)	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1
Päätaulun paino (kg)	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900
Päätaulun hintaindeksi	541,0	541,0	541,0	541,0	580,0	580,0
Muuntaja (kVA)	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole
Vaihe						
Moottorin vääntömomentti P=wT => T=P/w (kNm)	13,88	27,76	45,61	62,46	81,30	99,14
Vaihteen välityssuhde	7	7	7	7	7	7
Vaihteen tilavuus (m ³)	29,1	32,6	37,0	41,3	46,0	50,5
Vaihteen paino (kg)	13 800	18 100	23 600	28 700	34 500	40 000
Vaihteen hintaindeksi	208,8	293,2	401,8	504,4	619,0	727,6
Käytön tilavuus (m ³)	95,5	99,0	106,3	122,9	135,0	139,5
Käytön paino (kg)	34 700	39 400	45 700	55 600	63 800	69 300
Käytön hintaindeksi	1189,8	1334,2	1482,8	1825,4	2139,0	2247,6
Tilavuus/potkuriteho (m ³ /W)	46,9	24,3	15,9	13,4	11,3	9,6
Paino/potkuriteho (kg/kW)	17,1	9,7	6,8	6,1	5,4	4,8
Hintaindeksi/potkuriteho (/W)	584,7	327,8	221,8	199,3	179,5	154,6

Taulukko L7.5 Kemikaalitankkerin 12-pulssinen SAMI MegaStar-vakiokäyttö

	KÄYTTÖ					
	Minimipiste	Piste 2	Piste 3	Piste 4	Piste 5	Maksimipiste
Potkuriteho (kW)	2 035	4 070	6 686	9 157	11 919	14 535
Minimipotkuriteho (kW)	2 000					
Maksipotkuriteho (kW) (Moottori)	16 000					
SAMI MegaStar-12-pulssi (kVA)	1 400	2 800	4 600	6 300	8 200	10 000
Käytettävä suuntaaja (kVA)	2 000	3 150	5 000	6 300	10 000	10 000
Suuntaajan tilavuus (m ³)	12,1	12,1	13,9	19,7	23,5	23,5
Suuntaajan paino (kg)	4 000	4 200	4 600	7 000	8 200	8 200
Suuntaajan hintaindeksi	220,0	250,0	270,0	390,0	470,0	470,0
Generaattoriteho (kVA)	3 901	7 802	12 817	17 554	22 848	27 864
Yhden generaattorin teho (kVA)	975	1 950	3 204	4 389	5 712	6 966
Yhden generaattorin virta (A)	85	171	280	384	500	609
Cos φi	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Xd''	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Moottoriteho (kW)	1017,45	2034,90	3343,05	4578,53	5959,35	7267,50
Moottorivirta (A)	887,82	1775,65	2917,14	3995,21	5200,12	6341,60
Moottorien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Päätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu
Päätaulun jännite (V)	6600	6600	6600	6600	6600	6600
P-moottorin ottama virta (A)	116	232	381	522	680	829
Kiskoston maksimivirta (A)	256	512	841	1152	1499	1828
Oikosulkuvirta (A)	2275	4550	7475	10237	13325	16250
Oikosulkuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Päätaulukentät:	Generaattoritulot	4	Redundanssi	2	Hotelli järjestelmä	2
	Suuntaajalahdot	2	Magneetointi	0	Suodatus (M/G)	2
	Päätaulun jako	1	Mittauskentät	2	(arvioitu kiiskokatkaisijakentän hinnaksi)	2
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätaulun tilavuus (m ³)	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1
Päätaulun paino (kg)	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900
Päätaulun hintaindeksi	529,0	529,0	529,0	529,0	529,0	529,0
Muuntaja (kVA)	1500	3000	4500	6500	8500	10000
Muunto suhde	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83
Yliaaltokerroin	0,90	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Vertailukokkeroin						
Tilavuus	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Paino	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Hinta	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Muuntajan tilavuus (m ³)	13,7	18,7	23,8	30,7	37,6	42,7
Muuntajan paino (kg)	3 300	5 400	7 600	10 600	13 500	15 700
Muuntajan hintaindeksi	39,1	60,5	82,4	111,7	140,9	162,8
Vaihde						
Moottorin vääntömomentti P=WT => T=P/W (kNm)	13,88	27,76	45,61	62,46	81,30	99,14
Vaihteen välityssuhde	7	7	7	7	7	7
Vaihteen tilavuus (m ³)	29,1	32,6	37,0	41,3	46,0	50,5
Vaihteen paino (kg)	13 800	18 100	23 600	28 700	34 500	40 000
Vaihteen hintaindeksi	208,8	293,2	401,8	504,4	619,0	727,6
Käytön tilavuus (m ³)	122,8	136,4	154,0	184,3	210,2	225,0
Käytön paino (kg)	41 300	50 200	60 900	76 800	90 800	100 700
Käytön hintaindeksi	1256,0	1443,2	1635,7	2036,7	2369,8	2522,2
Tilavuus/potkuriteho (m ³ /W)	60,4	33,5	23,0	20,1	17,6	15,5
Paino/potkuriteho (kg/kW)	20,3	12,3	9,1	8,4	7,6	6,9
Hintaindeksi/potkuriteho (W)	617,2	354,6	244,6	222,4	198,8	173,5

Taulukko L7.6 Kemikaalitankkerin 6-pulssinen PWM-tahtikoneoptio-vakio-käyttö

	KÄYTTÖ					
	Minimipiste	Piste 2	Piste 3	Piste 4	Piste 5	Maksimipiste
Potkuriteho (kW)	6 840	8 550	10 260	11 970	13 680	15 390
Minimipotkuriteho (kW)	6 000					
Maksipotkuriteho (kW) (Päätaulu)	19 930					
PWM-tahtikoneoptio-6-pulssi (kVA)	4 000	5 000	6 000	7 000	8 000	9 000
Käytettävä suuntaaja (kVA)	6 000	6 000	6 000	9 000	9 000	9 000
Suuntaajan tilavuus (m ³)	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8
Suuntaajan paino (kg)	4 500	4 500	4 500	4 500	4 500	4 500
Suuntaajan hintaindeksi	390,0	390,0	390,0	465,2	465,2	465,2
Generaattoriteho (kVA)	11 146	13 932	16 718	19 505	22 291	25 077
Yhden generaattorin teho (kVA)	2 786	3 483	4 180	4 876	5 573	6 269
Yhden generaattorin virta (A)	536	670	804	938	1 072	1 207
Cos φi	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Xd''	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Moottoriteho (kW)	3 420	4 275	5 130	5 985	6 840	7 695
Moottorivirta (A)	729	912	1 094	1 276	1 459	1 641
Moottorien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Päätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu
Päätaulun jännite (V)	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000
P-moottorin ottama virta (A)	729	912	1 094	1 276	1 459	1 641
Kiskoston maksimivirta (A)	1 609	2 011	2 413	2 815	3 217	3 620
Oikosulkuvirta (A)	14 300	17 875	21 450	25 024	28 599	32 174
Oikosulkuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Päätaulukentät:	Generaattoritulot	4	Redundanssi	2	Hotelli järjestelmä	2
	Suuntaajalahdot	2	Magneetointi	0	Suodatus (M/G)	2
	Päätaulun jako	1	Mittauskentät	2	(arvioitu kiiskokatkaisijakentän hinnaksi)	2
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätaulun tilavuus (m ³)	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1
Päätaulun paino (kg)	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900
Päätaulun hintaindeksi	541,0	541,0	541,0	580,0	580,0	580,0
AFLI-kuristinta vastava muuntaja (kVA)	4 500	5 500	7 000	8 000	9 000	10 000
Suhteellinen induktanssi	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Kuristimen tilavuus (m ³)	25,8	29,1	34,2	37,5	40,9	44,3
Kuristimen paino (kg)	9 600	10 800	12 600	13 800	15 000	16 200
Kuristimen hintaindeksi	104,2	113,7	127,8	137,3	146,7	156,2
Käytön tilavuus (m ³)	125,4	132,1	142,2	148,9	155,6	162,4
Käytön paino (kg)	41 100	43 500	47 100	49 500	51 900	54 300
Käytön hintaindeksi	1529,4	1548,3	1576,7	1785,0	1803,9	1822,8
Tilavuus/potkuriteho (m ³ /W)	18,3	15,4	13,9	12,4	11,4	10,6
Paino/potkuriteho (kg/kW)	6,0	5,1	4,6	4,1	3,8	3,5
Hintaindeksi/potkuriteho (W)	223,6	181,1	153,7	149,1	131,9	118,4

Taulukko L7.7 Kemikaalitankkerin 12-pulssinen PWM-tahtikoneoptio-vakiokäyttö. Tummennetulla alueella päätaulun virtaraja ylitetään, joten käyttö ei ole mahdollinen.

	KÄYTTÖ					
	Minimipisto	Pisto 2	Pisto 3	Pisto 4	Pisto 5	Maksimipisto
Potkuriteho (kW)	15 390	17 955	20 520	23 940	27 360	30 780
Minimipotkuriteho (kW)	15 000					
Maksipotkuriteho (kW) (Päätaulu)	21 924					
PWM-tahtikoneoptio-12-pulssi (kVA)	9 000	10 500	12 000	14 000	16 000	18 000
Käytettävä suuntaaja (kVA)	12 000	12 000	12 000	15 000	18 000	18 000
Suuntaajan tilavuus (m ³)	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4
Suuntaajan paino (kg)	7 500	7 500	7 500	7 500	7 500	7 500
Suuntaajan hintaindeksi	702,6	702,6	702,6	817,6	817,6	817,6
Generaattoriteho (kVA)	25 077	29 257	33 437	39 009	44 582	50 155
Yhden generaattorin teho (kVA)	6 269	7 314	8 359	9 752	11 146	12 539
Yhden generaattorin virta (A)	548	640	731	853	975	1 097
Cos ϕ	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Xd''	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Moottoriteho (kW)	15 390	17 955	20 520	23 940	27 360	30 780
Moottorivirta (A)	11 415	13 317	15 220	17 756	20 293	22 830
Moottorien lukumäärä	1	1	1	1	1	1
Käämien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Päätaulu	Vaijännitepäätaulu	Vaijännitepäätaulu	Vaijännitepäätaulu	Vaijännitepäätaulu	Vaijännitepäätaulu	Vaijännitepäätaulu
Päätaulun jännite (V)	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600
P-moottorin ottama virta (A)	1 492	1 740	1 989	2 320	2 652	2 983
Kiskoston maksimivirta (A)	1 645	1 919	2 194	2 559	2 925	3 291
Oikosulkuvirta (A)	14 625	17 062	19 500	22 750	25 999	29 249
Oikosulkuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Päätaulukentät:	Generaattoritulot	4	Redundanssi	2	Hotelli järjestelmä	2
	Suuntaajalähdöt	2	Magnetointi	0	Suodatus (M/G)	2
	Päätaulun jako	1	Mittauskentät	2	(arvioidu kiskokatkaisijakentän hinnaksi)	
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätaulun tilavuus (m ³)	42,1	42,1	42,1	52,7	52,7	52,7
Päätaulun paino (kg)	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900
Päätaulun hintaindeksi	541,0	541,0	541,0	541,0	550,0	550,0
Muuntaja (kVA)	19 000	23 000	26 000	30 000	34 000	38 000
Muuntosuhde	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83
1 6-pulssimuuntaja	9 500	11 500	13 000	15 000	17 000	19 000
Yliaaltokerroin	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Muuntajan tilavuus (m ³)	85,2	98,6	108,7	122,2	135,7	152,5
Muuntajan paino (kg)	31 200	36 000	39 400	44 200	49 000	53 000
Muuntajan hintaindeksi	303,0	340,8	369,1	406,9	444,7	492,0
Käytön tilavuus (m ³)	267,4	294,3	314,5	352,0	378,8	412,5
Käytön paino (kg)	90 300	99 900	106 700	116 300	125 900	137 800
Käytön hintaindeksi	2552,1	2627,7	2684,4	2090,0	3104,6	3199,1
Tilavuus/potkuriteho (m ³ /W)	17,4	16,4	15,3	14,7	13,9	13,4
Paino/potkuriteho (kg/kW)	5,9	5,6	5,2	4,9	4,6	4,5
Hintaindeksi/potkuriteho (/W)	165,8	146,4	130,8	124,9	113,9	103,9

Taulukko L7.8 Kemikaalitankkerin 6-pulssinen 1000V/1570V muuntajakytkentäinen syklokonvertteri-vakiokäyttö

	KÄYTTÖ					
	Minimipisto	Pisto 2	Pisto 3	Pisto 4	Pisto 5	Maksimipisto
Potkuriteho (kW)	10 000	11 543	12 825	15 000	15 390	17 999
Minimipotkuriteho (kW)	10 000					
Maksipotkuriteho (kW) (Päätaulu)	44 869					
M-Syklo-6-pulssi/1000V (kVA)	5 848	6 750	7 500	8 772	9 000	10 526
Käytettävä suuntaaja (kVA)	8 772	8 772	8 772	10 526	10 526	10 526
Suuntaajan tilavuus (m ³)	17,8	17,8	17,8	19,3	19,3	19,3
Suuntaajan paino (kg)	5 600	5 600	5 600	6 200	6 200	6 200
Suuntaajan hintaindeksi	400,0	400,0	400,0	430,0	430,0	430,0
Generaattoriteho (kVA)	18 467	21 316	23 684	27 701	28 421	33 240
Yhden generaattorin teho (kVA)	4 617	5 329	5 921	6 925	7 105	8 310
Yhden generaattorin virta (A)	404	466	518	606	622	727
Cos ϕ	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Xd''	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Moottoriteho (kVA)	5 000	5 771	6 413	7 500	7 695	9 000
Moottorivirta (A)	1 839	2 122	2 358	2 758	2 830	3 310
Moottorien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Päätaulu	Vaijännitepäätaulu	Vaijännitepäätaulu	Vaijännitepäätaulu	Vaijännitepäätaulu	Vaijännitepäätaulu	Vaijännitepäätaulu
Päätaulun jännite (V)	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600
P-moottorin ottama virta (A)	557	643	715	836	858	1 003
Kiskoston maksimivirta (A)	1 212	1 398	1 554	1 817	1 865	2 181
Oikosulkuvirta (A)	10 770	12 431	13 812	16 155	16 575	19 385
Oikosulkuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Päätaulukentät:	Generaattoritulot	4	Redundanssi	2	Hotelli järjestelmä	2
	Suuntaajalähdöt	2	Magnetointi	0	Suodatus (M/G)	2
	Päätaulun jako	1	Mittauskentät	2	(arvioidu kiskokatkaisijakentän hinnaksi)	
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätaulun tilavuus (m ³)	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1
Päätaulun paino (kg)	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900
Päätaulun hintaindeksi	549,0	549,0	549,0	549,0	549,0	549,0
Muuntaja (kVA)	9 000	10 000	11 000	13 000	13 500	16 000
Muuntosuhde	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60
Muuntajan tilavuus (m ³)	24,0	25,4	26,8	29,5	30,2	33,6
Muuntajan paino (kg)	14 100	15 000	16 000	17 800	18 200	20 500
Muuntajan hintaindeksi	159,2	168,0	177,0	194,8	199,2	221,4
Käytön tilavuus (m ³)	125,8	128,6	131,3	139,8	141,1	148,0
Käytön paino (kg)	52 300	54 100	56 100	60 900	61 700	66 300
Käytön hintaindeksi	1667,4	1685,0	1703,0	1798,6	1807,4	1851,8
Tilavuus/potkuriteho (m ³ /W)	12,6	11,1	10,2	9,3	9,2	8,2
Paino/potkuriteho (kg/kW)	5,2	4,7	4,4	4,1	4,0	3,7
Hintaindeksi/potkuriteho (/W)	166,7	146,0	132,8	119,9	117,4	102,9

Taulukko L7.9

Kemikaalitankkerin 12-pulssinen 1000V/1570V muuntajakykentäinen syklokonvertteri-vakiokäyttö

	KÄYTTÖ					
	Minimipiste	Piste 2	Piste 3	Piste 4	Piste 5	Maksimipiste
Potkuriteho (kW)	20 000	23 085	25 650	30 000	30 780	36 001
Minimipotkuriteho (kW)	20 000					
Maksipotkuriteho (kW) (Päätaulu)	44 869					
M-Syklo-12-pulssi/1000V (kVA)	11 696	13 500	15 000	17 544	18 000	21 053
Käytettävä suuntaaja (kVA)	17 544	17 544	17 544	17 544	21 053	21 053
Suuntaajan tilavuus (m ³)	29,0	29,0	29,0	29,0	31,4	31,4
Suuntaajan paino (kg)	10 000	10 000	10 000	10 000	10 800	10 800
Suuntaajan hintaindeksi	660,0	660,0	660,0	660,0	700,0	700,0
Generaattoriteho (kVA)	36 935	42 632	47 368	55 402	56 842	66 483
Yhden generaattorin teho (kVA)	9 234	10 658	11 842	13 851	14 211	16 621
Yhden generaattorin virta (A)	808	932	1 036	1 212	1 243	1 454
cos φ	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Xd"	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Moottoriteho (kW)	10 000	11 543	12 825	15 000	15 390	18 000
Moottorivirta (A)	3 677	4 245	4 716	5 516	5 660	6 619
Moottorien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Käämien lukumäärä/moottori	1	1	1	1	1	1
Päätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu
Päätaulun jännite (V)	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600
P-moottorin ottama virta (A)	1 114	1 286	1 429	1 672	1 715	2 006
Kiskoston maksimivirta (A)	2 423	2 797	3 108	3 635	3 729	4 362
Oikosulkuvirta (A)	21 540	24 862	27 624	32 310	33 149	38 772
Oikosulkuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Päätaulukentät:	Generaattoritulot	4	Redundanssi	2	Hotelli järjestelmä	2
	Suuntaajalahdot	2	Magnetointi	0	Suodatus (M/G)	2
	Päätaulun jako	1	Mittauskentät	2	(arvioitu kiskokatkaisijakentän hinnaksi)	
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätaulun tilavuus (m ³)	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	52,7
Päätaulun paino (kg)	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900
Päätaulun hintaindeksi	549,0	549,0	588,0	588,0	588,0	588,0
Muuntaja (kVA)	17 500	20 000	22 500	26 500	27 000	31 500
Muuntosuhde	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60
Muuntajan tilavuus (m ³)	35,5	38,9	42,3	47,8	48,4	54,6
Muuntajan paino (kg)	21 800	24 000	26 300	29 900	30 400	34 500
Muuntajan hintaindeksi	233,6	255,6	277,6	312,8	317,2	356,8
Käytön tilavuus (m ³)	242,1	255,8	269,4	291,1	298,7	333,7
Käytön paino (kg)	120 100	128 900	138 100	152 500	156 100	172 500
Käytön hintaindeksi	2803,4	2891,4	3018,4	3159,2	3256,8	3415,2
Tilavuus/potkuriteho (m ³ /W)	12,1	11,1	10,5	9,7	9,7	9,3
Paino/potkuriteho (kg/kW)	6,0	5,6	5,4	5,1	5,1	4,8
Hintaindeksi/potkuriteho (W)	140,2	125,3	117,7	105,3	105,8	94,9

Taulukko L7.10

Kemikaalitankkerin 6-pulssinen 1200V/1870V muuntajakykentäinen syklokonvertteri-vakiokäyttö

	KÄYTTÖ					
	Minimipiste	Piste 2	Piste 3	Piste 4	Piste 5	Maksimipiste
Potkuriteho (kW)	11 970	13 851	15 732	17 613	19 494	21 999
Minimipotkuriteho (kW)	11 000					
Maksipotkuriteho (kW) (Päätaulu)	53 442					
M-Syklo-6-pulssi/1200V (kVA)	7 000	8 100	9 200	10 300	11 400	12 865
Käytettävä suuntaaja (kVA)	12 865	12 865	12 865	12 865	12 865	12 865
Suuntaajan tilavuus (m ³)	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7
Suuntaajan paino (kg)	6 700	6 700	6 700	6 700	6 700	6 700
Suuntaajan hintaindeksi	380,0	380,0	380,0	380,0	380,0	380,0
Generaattoriteho (kVA)	22 105	25 579	29 053	32 526	36 000	40 626
Yhden generaattorin teho (kVA)	5 526	6 395	7 263	8 132	9 000	10 157
Yhden generaattorin virta (A)	483	559	635	711	787	888
cos φ	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Xd"	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Moottoriteho (kW)	5 985	6 926	7 866	8 807	9 747	11 000
Moottorivirta (A)	1 848	2 138	2 429	2 719	3 009	3 396
Moottorien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Päätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu
Päätaulun jännite (V)	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600
P-moottorin ottama virta (A)	560	648	736	824	912	1 029
Kiskoston maksimivirta (A)	1 450	1 678	1 906	2 134	2 362	2 665
Oikosulkuvirta (A)	12 891	14 917	16 943	18 969	20 995	23 693
Oikosulkuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Päätaulukentät:	Generaattoritulot	4	Redundanssi	2	Hotelli järjestelmä	2
	Suuntaajalahdot	2	Magnetointi	0	Suodatus (M/G)	2
	Päätaulun jako	1	Mittauskentät	2	(arvioitu kiskokatkaisijakentän hinnaksi)	
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätaulun tilavuus (m ³)	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1
Päätaulun paino (kg)	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900
Päätaulun hintaindeksi	549,0	549,0	549,0	549,0	549,0	549,0
Muuntaja (kVA)	10 500	12 000	14 000	15 500	17 000	19 500
Muuntosuhde	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60
Muuntajan tilavuus (m ³)	26,1	28,2	30,9	32,9	35,0	38,2
Muuntajan paino (kg)	15 500	16 900	18 700	20 100	21 400	23 600
Muuntajan hintaindeksi	172,6	185,8	203,6	217,0	230,2	251,2
Käytön tilavuus (m ³)	133,8	137,9	143,4	147,5	151,6	158,1
Käytön paino (kg)	57 300	60 100	63 700	66 500	69 100	73 500
Käytön hintaindeksi	1654,2	1680,6	1716,2	1743,0	1769,4	1811,4
Tilavuus/potkuriteho (m ³ /W)	11,2	10,0	9,1	8,4	7,8	7,2
Paino/potkuriteho (kg/kW)	4,8	4,3	4,0	3,8	3,5	3,3
Hintaindeksi/potkuriteho (W)	138,2	121,3	109,1	99,0	90,8	82,3

Taulukko L7.11 Kemikaalitankkerin 12-pulssinen 1200V/1870V muuntajakyt-kentäinen syklokonvertteri-vakiokäyttö. Generaattorin x_d :a on nostettu oikosulkuvirran pienentämiseksi alle maksimiarvon.

	KÄYTTÖ					
	Minimipiste	Piste 2	Piste 3	Piste 4	Piste 5	Maksimipiste
Potkuriteho (kW)	23 940	27 702	31 464	35 226	38 988	44 000
Minimipotkuriteho (kW)	23 000					
Maksipotkuriteho (kW) (Päätaulu)	53 442					
M-Syklo-12-pulssi/1200V (kVA)	14 000	16 200	18 400	20 600	22 800	25 731
Käytettävä suuntaaja (kVA)	25 731	25 731	25 731	25 731	25 731	25 731
Suuntaajan tilavuus (m ³)	32,3	32,3	32,3	32,3	32,3	32,3
Suuntaajan paino (kg)	12 000	12 000	12 000	12 000	12 000	12 000
Suuntaajan hintaindeksi	600,0	600,0	600,0	600,0	600,0	600,0
Generaattoriteho (kVA)	44 211	51 158	58 105	65 053	72 000	81 256
Yhden generaattorin teho (kVA)	11 053	12 789	14 526	16 263	18 000	20 314
Yhden generaattorin virta (A)	967	1 119	1 271	1 423	1 575	1 777
cos φl	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Xd"	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,18
Moottoriteho (kW)	11 970	13 851	15 732	17 613	19 494	22 000
Moottorivirta (A)	3 696	4 276	4 857	5 438	6 019	6 792
Moottorien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Käämien lukumäärä/moottori	1	1	1	1	1	1
Päätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu
Päätaulun jännite (V)	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600
P-moottorin ottama virta (A)	1 120	1 296	1 472	1 648	1 824	2 058
Kiskoston maksimivirta (A)	2 901	3 356	3 812	4 268	4 724	5 331
Oikosulkuvirta (A)	25 783	29 834	33 886	37 938	39 365	39 489
Oikosulkuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Päätäulukentät:	Generaattoritulot	4	Redundanssi	2	Hotelliinjennitys	2
	Suuntaajajohdot	1	Magneetointi	0	Suodatus (M/G)	2
	Päätäulun jako	1	Mittauskentät	2	(arvioitu kokonaiskalkulaation hinnaksi)	
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätäulun tilavuus (m ³)	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	52,7
Päätäulun paino (kg)	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900
Päätäulun hintaindeksi	588,0	588,0	588,0	588,0	588,0	588,0
Muuntaja (kVA)	21 000	24 500	27 500	31 000	34 000	38 500
Muuntosuhde	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60
Muuntajan tilavuus (m ³)	40,3	45,0	49,1	53,9	58,0	64,1
Muuntajan paino (kg)	25 000	28 100	30 800	34 000	36 700	40 800
Muuntajan hintaindeksi	264,4	295,2	321,6	352,4	379,0	418,6
Käytön tilavuus (m ³)	267,8	286,6	303,2	322,2	338,6	373,6
Käytön paino (kg)	136 900	149 300	160 100	172 900	183 700	200 100
Käytön hintaindeksi	2845,6	2968,8	3074,4	3197,6	3304,0	3462,4
Tilavuus/potkuriteho (m ³ /W)	11,2	10,4	9,6	9,1	8,7	8,5
Paino/potkuriteho (kg/kW)	5,7	5,4	5,1	4,9	4,7	4,5
Hintaindeksi/potkuriteho (/W)	118,9	107,2	97,7	90,8	84,7	78,7

Taulukko L7.12 Kemikaalitankkerin 6-pulssinen välijännitesyklokonvertteri-vakiokäyttö. Tummennetulla alueella päätäulun virtaraja ylitetään, joten käyttö ei ole mahdollinen. Lisäksi oikosulkuvirtaraja ylitetään.

	KÄYTTÖ					
	Minimipiste	Piste 2	Piste 3	Piste 4	Piste 5	Maksimipiste
Potkuriteho (kW)	17 000	22 230	25 650	30 000	41 640	66 000
Minimipotkuriteho (kW)	17 000					
Maksipotkuriteho (kW) (Päätaulu)	38 971					
V-Syklo-6-pulssi (kVA)	10 526	13 000	15 000	17 544	24 000	29 240
Käytettävä suuntaaja (kVA)	17 544	17 544	17 544	17 544	24 000	29 240
Suuntaajan tilavuus (m ³)	31,7	31,7	31,7	31,7	31,7	31,7
Suuntaajan paino (kg)	8 900	8 900	8 900	8 900	8 900	8 900
Suuntaajan hintaindeksi	1150,0	1150,0	1150,0	1150,0	1230,0	1230,0
Generaattoriteho (kVA)	35 614	43 985	50 752	59 359	81 203	98 932
Yhden generaattorin teho (kVA)	8 904	10 996	12 688	14 840	20 301	24 733
Yhden generaattorin virta (A)	779	962	1 110	1 298	1 778	2 184
cos φl	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Xd"	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,18
Moottoriteho (kW)	9 000	11 115	12 825	15 000	20 820	25 000
Moottorivirta (A)	577	713	823	962	1 318	1 604
Moottorien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Päätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu
Päätäulun jännite (V)	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600
P-moottorin ottama virta (A)	1 155	1 426	1 645	1 925	2 633	3 268
Kiskoston maksimivirta (A)	2 337	2 886	3 330	3 884	5 328	6 661
Oikosulkuvirta (A)	20 770	25 651	29 598	34 617	47 386	67 696
Oikosulkuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	Ei käy	Ei käy
Päätäulukentät:	Generaattoritulot	4	Redundanssi	2	Hotelliinjennitys	2
	Suuntaajajohdot	2	Magneetointi	0	Suodatus (M/G)	2
	Päätäulun jako	1	Mittauskentät	2	(arvioitu kokonaiskalkulaation hinnaksi)	
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätäulun tilavuus (m ³)	42,1	42,1	42,1	42,1	52,7	52,7
Päätäulun paino (kg)	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900
Päätäulun hintaindeksi	537,0	576,0	576,0	576,0	576,0	576,0
Kommutointikuristin						
Huom! Vakiokuristin						
Kuristimen tilavuus (m ³)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Kuristimen paino (kg)	9 000	9 000	9 000	9 000	9 000	9 000
Kuristimen hintaindeksi	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0
Nollakuristin						
Huom! Vakiokuristin						
Kuristimen tilavuus (m ³)	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
Kuristimen paino (kg)	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000
Kuristimen hintaindeksi	140,0	140,0	140,0	140,0	140,0	140,0
Käytön tilavuus (m ³)	144	144	144	144	154	154
Käytön paino (kg)	60 700	60 700	60 700	60 700	62 700	62 700
Käytön hintaindeksi	3 357	3 396	3 396	3 396	3 558	3 558
Tilavuus/potkuriteho (m ³ /W)	8,0	6,5	5,6	4,8	3,6	3,1
Paino/potkuriteho (kg/kW)	3,4	2,7	2,4	2,0	1,9	1,3
Hintaindeksi/potkuriteho (/W)	186,6	152,8	132,4	113,2	89,6	71,1

Liite 8
 Konttilaivakäytöt

Taulukko L8.1
 Konttilaivan oletukset

KONTTILAIVA					
Potkurin nopeus (RPM)	100				
Omega w	10,47				
Generaattoriteho / Potkuriteho syklo	1,7	(cos fii=0,75)			
Potkurien lukumäärä	1				
Generaattorien lukumäärä	4				

Taulukko L8.2
 Konttilaivan 6-pulssinen ACS600-vakiokäyttö. Tummennetulla alueella päätaulun virtaraja ylitetään, joten käyttö ei ole mahdollinen.

	KÄYTTÖ					
	Minimiplate	Plate 2	Plate 3	Plate 4	Plate 5	Maksimiplate
Potkuriteho (kW)	1 454	1 890	2 326	2 907	3 343	3 634
Minimipotkuriteho (kW)	1 400					
Maksipotkuriteho (kW) (Päätaulu)	3 300					
ACS600-6-puissi (kVA)	1 000	1 300	1 600	2 000	2 300	2 300
Käytettävä suuntaaja (kVA)	1 582	1 582	1 966	2 354	2 354	2 300
Suuntaajan tilavuus (m^3)	7,7	7,7	8,9	8,9	8,9	10,2
Suuntaajan paino (kg)	3 260	3 260	3 960	3 960	3 960	4 480
Suuntaajan hintaindeksi	124,0	124,0	134,6	148,0	148,0	173,6
Generaattoriteho Yht. (kVA)	3 158	4 105	5 053	6 316	7 263	7 885
Yhden generaattorin teho (kVA)	789	1 026	1 263	1 579	1 816	1 974
Yhden generaattorin virta (A)	661	859	1 057	1 321	1 519	1 651
Cos fi	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Xd"	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Moottoriteho (kW)	727	945	1 163	1 454	1 672	1 817
Moottorivirta (A)	793	1 031	1 268	1 585	1 823	1 982
Moottorien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Päätaulu	MHS-pienjännite	MHS-pienjännite	MHS-pienjännite	MHS-pienjännite	MHS-pienjännite	MHS-pienjännite
Päätaulun jännite (V)	690	690	690	690	690	690
P-moottorin ottama virta (A)	793	1 031	1 268	1 585	1 823	1 982
Kiskoston maksimivirta (A)	1 982	2 576	3 171	3 964	4 558	4 954
Oikosulkuvirta (A)	17 616	22 900	28 185	35 231	40 516	44 039
Oikosulkuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Päätaulukentät:	Generaattoritulot	4	Redundanssi	2	Hotelli järjestelmä	2
	Suuntaajalähdöt	2	Magnetointi	0	Suodatus (M/G)	2
	Päätaulun jako	1	Mittauskentät	2	(erilliset kiskokatkot)	2
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätaulun tilavuus (m^3)	21,1	21,1	39,6	39,6	39,6	39,6
Päätaulun paino (kg)	5 450	5 450	8 250	8 250	8 250	8 250
Päätaulun hintaindeksi	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0
Muuntaja (kVA)	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole
Vaihde						
Moottorin vääntömomentti P=wT => T=P/w (kNm)	9,91	12,89	15,86	19,83	22,80	24,79
Vaihteen välitysuhde	7	7	7	7	7	7
Vaihteen tilavuus (m^3)	28,1	28,9	29,6	30,6	31,3	31,8
Vaihteen paino (kg)	12 600	13 500	14 400	15 700	16 600	17 200
Vaihteen hintaindeksi	184,8	202,8	221,0	245,0	263,2	276,2
Käytön tilavuus (m^3)	64,6	65,3	87,1	88,1	88,8	91,9
Käytön paino (kg)	24 600	25 500	30 600	31 900	32 800	34 400
Käytön hintaindeksi	530,8	548,8	588,2	639,0	657,2	720,4
Tilavuus/potkuriteho (m^3/W)	44,4	34,6	37,4	30,3	26,6	29,3
Paino/potkuriteho (kg/kW)	16,9	13,5	13,2	11,0	9,8	9,5
Hintaindeksi/potkuriteho (/W)	365,2	290,4	252,9	219,8	196,6	188,3

Taulukko L8.3 *Konttilaivan 12-pulssinen ACS600-vakiokäyttö*

	KÄYTTÖ					
	Minimipiste	Piste 2	Piste 3	Piste 4	Piste 5	Maksimipiste
Potkuriteho (kW)	1 454	2 616	3 634	4 797	5 814	6 911
Minimipotkuriteho (kW)	1 400					
Maksipotkuriteho (kW) (Suuntaaja)	6 911					
ACS600-12-pulssi (kVA)	1 000	1 800	2 500	3 300	4 000	4 755
Käytettävä suuntaaja (kVA)	1 582	1 966	2 590	3 589	4 755	4 755
Suuntaajan tilavuus (m ³)	9,7	11,0	12,3	15,1	15,1	15,1
Suuntaajan paino (kg)	4 060	4 760	5 260	7 260	7 260	7 260
Suuntaajan hintaindeksi	124,0	152,6	183,8	267,2	295,0	295,0
Generaattoriteho (kVA)	3 158	5 684	7 895	10 421	12 632	15 016
Yhden generaattorin teho (kVA)	789	1 421	1 974	2 605	3 158	3 754
Yhden generaattorin virta (A)	138	249	345	456	552	657
Cos fi	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Xd"	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Moottoriteho (kW)	727	1 308	1 817	2 398	2 907	3 456
Moottorivirta (A)	1 585	2 854	3 964	5 232	6 342	7 539
Moottorien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Päätaulu	MHS-pienjännite	MHS-pienjännite	MHS-pienjännite	MHS-pienjännite	MHS-pienjännite	MHS-pienjännite
Päätaulun jännite (V)	3 300	3 300	3 300	3 300	3 300	3 300
P-moottorin ottama virta (A)	166	298	414	547	663	788
Kiskoston maksimivirta (A)	414	746	1 036	1 367	1 687	1 970
Oikosulkuvirta (A)	3 683	6 630	9 208	12 155	14 733	17 514
Oikosulkuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Päätaulukentät:	Generaattoritulot	4	Redundanssi	2	Hotellijärjestelmä	2
	Suuntaajalahdot	2	Magnetointi	0	Suodatus (M/G)	2
	Päätaulun jako	1	Mittauskentät	2	(arvioitu kokokatkaisijakentän hinnaksi)	2
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätaulun tilavuus (m ³)	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1
Päätaulun paino (kg)	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900
Päätaulun hintaindeksi	541,0	541,0	541,0	541,0	541,0	541,0
Muuntaja (kVA)	1000	2000	2500	3500	4000	5000
Muuntosuhde	9,57	9,57	9,57	9,57	9,57	9,57
Yliaaltokerroin	0,90	0,87	0,87	0,85	0,85	0,85
Vertailukokokerroin						
Tilavuus	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Paino	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Hinta	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Muuntajan tilavuus (m ³)	11,2	14,4	15,8	20,6	20,6	23,9
Muuntajan paino (kg)	3 700	5 800	6 700	8 800	9 900	12 000
Muuntajan hintaindeksi	61,8	89,6	102,3	130,4	144,5	172,6
Vaihde						
Moottorin vääntömomentti P=wT	9,91	17,85	24,79	32,72	39,66	47,14
=> T=P/w (kNm)						
Vaihteen välityssuhde	7	7	7	7	7	7
Vaihteen tilavuus (m ³)	29,1	30,1	31,8	33,8	35,6	37,4
Vaihteen paino (kg)	12 600	15 100	17 200	19 600	21 700	24 000
Vaihteen hintaindeksi	184,8	233,0	275,2	323,4	365,6	411,2
Käytön tilavuus (m ³)	112,1	123,0	130,2	144,2	149,2	157,4
Käytön paino (kg)	41 000	49 100	54 000	64 600	68 900	75 400
Käytön hintaindeksi	1097,4	1258,4	1388,4	1659,6	1785,6	1887,4
Tilavuus/potkuriteho (m ³ /W)	77,1	47,0	35,8	30,1	25,7	22,8
Paino/potkuriteho (kg/kW)	28,2	18,8	14,9	13,5	11,9	10,9
Hintaindeksi/potkuriteho (/W)	755,0	481,0	382,1	346,0	307,1	273,1

Taulukko L8.4 *Konttilaivan 6-pulssinen SAMI MegaStar-vakiokäyttö*

	KÄYTTÖ					
	Minimipiste	Piste 2	Piste 3	Piste 4	Piste 5	Maksimipiste
Potkuriteho (kW)	2 035	4 070	6 686	9 137	11 919	14 535
Minimipotkuriteho (kW)	2 000					
Maksipotkuriteho (kW) (Moottori)	16 000					
SAMI MegaStar-6-pulssi (kVA)	1 400	2 800	4 600	6 300	8 200	10 000
Käytettävä suuntaaja (kVA)	2 000	3 150	5 000	6 300	10 000	10 000
Suuntaajan tilavuus (m ³)	12,1	12,1	13,6	19,7	23,5	23,5
Suuntaajan paino (kg)	4 000	4 200	4 600	7 000	8 200	8 200
Suuntaajan hintaindeksi	220,0	250,0	270,0	390,0	470,0	470,0
Generaattoriteho (kVA)	4 421	8 842	14 526	19 895	25 895	31 579
Yhden generaattorin teho (kVA)	1 105	2 211	3 632	4 974	6 474	7 895
Yhden generaattorin virta (A)	193	387	635	870	1 133	1 381
Cos fi	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Xd"	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Moottoriteho (kW)	1017,45	2034,90	3343,05	4578,53	5959,35	7267,50
Moottorivirta (A)	232,05	464,09	762,43	1044,20	1359,12	1657,46
Moottorien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Päätaulu	Vaijennitepäätaulu	Vaijennitepäätaulu	Vaijennitepäätaulu	Vaijennitepäätaulu	Vaijennitepäätaulu	Vaijennitepäätaulu
Päätaulun jännite (V)	3300	3300	3300	3300	3300	3300
P-moottorin ottama virta (A)	232	464	762	1044	1359	1657
Kiskoston maksimivirta (A)	580	1160	1906	2611	3398	4144
Oikosulkuvirta (A)	5157	10313	16943	23205	30203	36833
Oikosulkuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Päätaulukentät:	Generaattoritulot	4	Redundanssi	2	Hotellijärjestelmä	2
	Suuntaajalahdot	2	Magnetointi	0	Suodatus (M/G)	2
	Päätaulun jako	1	Mittauskentät	2	(arvioitu kokokatkaisijakentän hinnaksi)	2
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätaulun tilavuus (m ³)	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1
Päätaulun paino (kg)	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900
Päätaulun hintaindeksi	541,0	541,0	541,0	541,0	580,0	580,0
Muuntaja (kVA)	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole
Vaihde						
Moottorin vääntömomentti P=wT	13,88	27,76	45,61	62,46	81,30	99,14
=> T=P/w (kNm)						
Vaihteen välityssuhde	7	7	7	7	7	7
Vaihteen tilavuus (m ³)	29,1	32,6	37,0	41,3	46,0	50,5
Vaihteen paino (kg)	13 800	18 100	23 600	28 700	34 500	40 000
Vaihteen hintaindeksi	208,8	293,2	401,8	504,4	619,0	727,6
Käytön tilavuus (m ³)	95,5	99,0	106,3	122,9	135,0	139,5
Käytön paino (kg)	34 700	39 400	45 700	55 600	63 800	69 300
Käytön hintaindeksi	1189,8	1334,2	1482,8	1825,4	2139,0	2247,6
Tilavuus/potkuriteho (m ³ /W)	46,9	24,3	15,9	13,4	11,3	9,6
Paino/potkuriteho (kg/kW)	17,1	9,7	6,8	6,1	5,4	4,8
Hintaindeksi/potkuriteho (/W)	584,7	327,8	221,8	199,3	179,5	154,6

Taulukko L8.5

Konttilaivan 12-pulssinen SAMI MegaStar-vakiokäyttö

	KÄYTTÖ					
	Minimipiste	Piste 2	Piste 3	Piste 4	Piste 5	Maksimipiste
Potkuriteho (kW)	2 035	4 070	6 686	9 157	11 919	14 535
Minimipotkuriteho (kW)	2 000					
Maksipotkuriteho (kW) (Moottori)	16 000					
SAMI MegaStar-12-pulssi (kVA)	1 400	2 800	4 600	6 300	8 200	10 000
Käytettävä suuntaaja (kVA)	2 000	3 150	5 000	6 300	10 000	10 000
Suuntaajan tilavuus (m ³)	12,1	12,1	13,6	19,7	23,5	23,5
Suuntaajan paino (kg)	4 000	4 200	4 600	7 000	8 200	8 200
Suuntaajan hintaindeksi	220,0	250,0	270,0	390,0	470,0	470,0
Generaattoriteho (kVA)	4 421	8 842	14 526	19 895	25 895	31 579
Yhden generaattorin teho (kVA)	1 105	2 211	3 632	4 974	6 474	7 895
Yhden generaattorin virta (A)	97	193	318	435	566	691
cos φ	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Xd"	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Moottoriteho (kW)	1017,45	2034,90	3343,05	4578,53	5959,35	7267,50
Moottorivirta (A)	887,82	1775,65	2917,14	3995,21	5200,12	6341,60
Moottorien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Päätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu
Päätaulun jännite (V)	6600	6600	6600	6600	6600	6600
P-moottorin ottama virta (A)	116	232	381	522	680	829
Kiskoston maksimivirta (A)	290	580	953	1305	1699	2072
Oikosulkuvirta (A)	2578	5157	8471	11602	15101	18416
Oikosulkuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Päätaulukentät:	Generaattorit	4	Redundanssi	2	Hotelli/järjestelmä	2
	Suuntaajalähdöt	2	Magnetointi	0	Suodatus (M/G)	2
	Päätaulun jako	1	Mittauskentät	2	(arvioitu kiskokatkaisijakentän hinnaksi)	15
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätaulun tilavuus (m ³)	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1
Päätaulun paino (kg)	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900
Päätaulun hintaindeksi	529,0	529,0	529,0	529,0	529,0	529,0
Muuntaja (kVA)	1500	3000	4500	6500	8500	10000
Muuntosuhde	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83
Yliaaltokerroin	0,90	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Vertailukokkeroin						
Tilavuus	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Paino	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Hinta	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Muuntajan tilavuus (m ³)	13,7	18,7	23,8	30,7	37,6	42,7
Muuntajan paino (kg)	3 300	5 400	7 600	10 600	13 500	15 700
Muuntajan hintaindeksi	39,1	60,5	82,4	111,7	140,9	162,8
Vaihe						
Moottorin vääntömomentti P=wT	13,88	27,76	45,61	62,46	81,30	99,14
=> T=P/w (kNm)	7	7	7	7	7	7
Vaihteen välityssuhde	29,1	32,6	37,0	41,3	46,0	50,5
Vaihteen tilavuus (m ³)	13 800	18 100	23 600	28 700	34 500	40 000
Vaihteen paino (kg)	208,8	293,2	401,8	504,4	619,0	727,6
Vaihteen hintaindeksi						
Käytön tilavuus (m ³)	122,8	136,4	154,0	184,3	210,2	226,0
Käytön paino (kg)	41 300	50 200	60 900	76 900	90 900	100 700
Käytön hintaindeksi	1256,0	1443,2	1635,7	2036,7	2369,8	2522,2
Tilavuus/potkuriteho (m ³ /W)	60,4	33,5	23,0	20,1	17,6	15,5
Paino/potkuriteho (kg/kW)	20,3	12,3	9,1	8,4	7,6	6,9
Hintaindeksi/potkuriteho (/W)	617,2	354,6	244,6	222,4	198,8	173,5

Taulukko L8.6

Konttilaivan 6-pulssinen PWM-tahtikoneoptio-vakiokäyttö

	KÄYTTÖ					
	Minimipiste	Piste 2	Piste 3	Piste 4	Piste 5	Maksimipiste
Potkuriteho (kW)	6 840	8 550	10 260	11 970	13 680	15 390
Minimipotkuriteho (kW)	6 000					
Maksipotkuriteho (kW) (Päätaulu)	19 930					
PWM-tahtikoneoptio-6-pulssi (kVA)	4 000	5 000	6 000	7 000	8 000	9 000
Käytettävä suuntaaja (kVA)	6 000	6 000	6 000	9 000	9 000	9 000
Suuntaajan tilavuus (m ³)	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8
Suuntaajan paino (kg)	4 500	4 500	4 500	4 500	4 500	4 500
Suuntaajan hintaindeksi	390,0	390,0	390,0	465,2	465,2	465,2
Generaattoriteho (kVA)	12 632	15 789	18 947	22 105	25 263	28 421
Yhden generaattorin teho (kVA)	3 158	3 947	4 737	5 526	6 316	7 105
Yhden generaattorin virta (A)	608	760	912	1 064	1 215	1 367
cos φ	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Xd"	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Moottoriteho (kW)	3 420	4 275	5 130	5 985	6 840	7 695
Moottorivirta (A)	729	912	1 094	1 276	1 459	1 641
Moottorien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Päätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu
Päätaulun jännite (V)	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000
P-moottorin ottama virta (A)	729	912	1 094	1 276	1 459	1 641
Kiskoston maksimivirta (A)	1 823	2 279	2 735	3 191	3 646	4 102
Oikosulkuvirta (A)	16 206	20 258	24 309	28 361	32 413	36 464
Oikosulkuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Päätaulukentät:	Generaattorit	4	Redundanssi	2	Hotelli/järjestelmä	2
	Suuntaajalähdöt	2	Magnetointi	0	Suodatus (M/G)	2
	Päätaulun jako	1	Mittauskentät	2	(arvioitu kiskokatkaisijakentän hinnaksi)	15
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätaulun tilavuus (m ³)	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1
Päätaulun paino (kg)	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900
Päätaulun hintaindeksi	541,0	541,0	541,0	580,0	580,0	580,0
AFU-kuristinta vastaava muuntaja (kVA)	4 500	5 500	7 000	8 000	9 000	10 000
Suhteellinen induktanssi	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Kuristimen tilavuus (m ³)	25,8	29,1	34,2	37,5	40,9	44,3
Kuristimen paino (kg)	9 600	10 800	12 600	13 800	15 000	16 200
Kuristimen hintaindeksi	104,2	113,7	127,8	137,3	146,7	156,2
Käytön tilavuus (m ³)	125,4	132,1	142,2	148,9	155,6	162,4
Käytön paino (kg)	41 100	43 500	47 100	49 500	51 900	54 300
Käytön hintaindeksi	1529,4	1548,3	1576,7	1785,0	1803,9	1822,8
Tilavuus/potkuriteho (m ³ /W)	18,3	15,4	13,9	12,4	11,4	10,6
Paino/potkuriteho (kg/kW)	6,0	5,1	4,6	4,1	3,8	3,5
Hintaindeksi/potkuriteho (/W)	223,6	181,1	153,7	149,1	131,9	118,4

Taulukko L8.7

Konttilaivan 12-pulssinen PWM-tahtikoneoptio-vakiokäyttö.
Tummennetulla alueella päätaulun virtaraja ylitetään, joten
käyttö ei ole mahdollinen.

	KÄYTTÖ					
	Minimipiste	Piste 2	Piste 3	Piste 4	Piste 5	Maksimipiste
Potkuriteho (kW)	15 390	17 955	20 520	23 940	27 360	30 780
Minimipotkuriteho (kW)	15 000					
Maksipotkuriteho (kW) (Päätaulu)	21 924					
PWM-tahtikoneoptio-12-pulssi (kVA)	9 000	10 500	12 000	14 000	16 000	18 000
Käytettävä suuntaaja (kVA)	12 000	12 000	12 000	18 000	18 000	18 000
Suuntaajan tilavuus (m ³)	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4
Suuntaajan paino (kg)	7 500	7 500	7 500	7 500	7 500	7 500
Suuntaajan hintaindeksi	702,6	702,6	702,6	817,6	817,6	817,6
Generaattoriteho (kVA)	28 421	33 158	37 895	44 211	50 526	56 842
Yhden generaattorin teho (kVA)	7 105	8 289	9 474	11 053	12 632	14 211
Yhden generaattorin virta (A)	622	725	829	967	1 105	1 243
cos φi	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Xd''	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Moottoriteho (kW)	15 390	17 955	20 520	23 940	27 360	30 780
Moottorivirta (A)	11 415	13 317	15 220	17 758	20 293	22 830
Moottorien lukumäärä	1	1	1	1	1	1
Käämien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Päätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu
Päätaulun jännite (V)	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600
P-moottorin ottama virta (A)	1 492	1 740	1 989	2 320	2 652	2 983
Kiskoston maksimivirta (A)	1 865	2 175	2 486	2 901	3 315	3 729
Oikosulkuvirta (A)	16 575	19 337	22 100	25 783	29 466	33 149
Oikosulkuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Päätaulukentät:	Generaattoritulot	4	Redundanssi	2	Hotellijärjestelmä	2
	Suuntaajalähdöt	2	Magnetointi	0	Suodatus (M/G)	2
	Päätaulun jako	1	Mittauskentät	2	Arvioitu kiskokatkaisijakentän hinta	2
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätaulun tilavuus (m ³)	42,1	42,1	42,1	52,7	52,7	52,7
Päätaulun paino (kg)	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900
Päätaulun hintaindeksi	541,0	541,0	541,0	580,0	580,0	580,0
Muuntaja (kVA)	19 000	23 000	26 000	30 000	34 000	39 000
Muuntosuhde	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83
1 6-pulssimuuntaja	9 500	11 500	13 000	15 000	17 000	19 500
Yliaaltokerroin	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Muuntajan tilavuus (m ³)	85,2	98,6	108,7	122,2	138,7	152,5
Muuntajan paino (kg)	31 200	36 000	39 400	44 200	49 000	55 000
Muuntajan hintaindeksi	303,0	340,8	369,1	406,9	444,7	492,0
Käytön tilavuus (m ³)	267,4	294,3	314,5	352,0	378,9	412,5
Käytön paino (kg)	90 300	99 900	106 700	116 300	126 900	137 900
Käytön hintaindeksi	2552,1	2627,7	2684,4	3026,0	3104,6	3166,1
Tilavuus/potkuriteho (m ³ /W)	17,4	16,4	15,3	14,7	13,8	13,4
Paino/potkuriteho (kg/kW)	5,9	5,6	5,2	4,8	4,6	4,5
Hintaindeksi/potkuriteho (/W)	165,8	146,4	130,8	126,5	113,5	103,9

Taulukko L8.8

Konttilaivan 6-pulssinen 1000V/1570V muuntajakytkentäinen
syklokonvertteri-vakiokäyttö

	KÄYTTÖ					
	Minimipiste	Piste 2	Piste 3	Piste 4	Piste 5	Maksimipiste
Potkuriteho (kW)	10 000	11 543	12 825	15 000	15 390	17 999
Minimipotkuriteho (kW)	10 000					
Maksipotkuriteho (kW) (Päätaulu)	44 869					
M-Syklo-6-pulssi/1000V (kVA)	5 848	6 750	7 500	8 772	9 000	10 526
Käytettävä suuntaaja (kVA)	8 772	8 772	8 772	10 526	10 526	10 526
Suuntaajan tilavuus (m ³)	17,8	17,8	17,8	19,3	19,3	19,3
Suuntaajan paino (kg)	5 600	5 600	5 600	6 200	6 200	6 200
Suuntaajan hintaindeksi	400,0	400,0	400,0	430,0	430,0	430,0
Generaattoriteho (kVA)	20 930	24 158	26 842	31 395	32 211	37 672
Yhden generaattorin teho (kVA)	5 232	6 039	6 711	7 849	8 053	9 418
Yhden generaattorin virta (A)	458	528	587	687	704	824
cos φi	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Xd''	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Moottoriteho (kVA)	5 000	5 771	6 413	7 500	7 695	9 000
Moottorivirta (A)	1 839	2 122	2 358	2 758	2 830	3 310
Moottorien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Päätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu
Päätaulun jännite (V)	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600
P-moottorin ottama virta (A)	557	643	715	836	858	1 003
Kiskoston maksimivirta (A)	1 373	1 585	1 761	2 060	2 113	2 472
Oikosulkuvirta (A)	12 206	14 088	15 654	18 309	18 785	21 970
Oikosulkuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Päätaulukentät:	Generaattoritulot	4	Redundanssi	2	Hotellijärjestelmä	2
	Suuntaajalähdöt	2	Magnetointi	0	Suodatus (M/G)	2
	Päätaulun jako	1	Mittauskentät	2	Arvioitu kiskokatkaisijakentän hinta	2
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätaulun tilavuus (m ³)	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1
Päätaulun paino (kg)	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900
Päätaulun hintaindeksi	549,0	549,0	549,0	549,0	549,0	549,0
Muuntaja (kVA)	9 000	10 000	11 000	13 000	13 500	16 000
Muuntosuhde	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60
Muuntajan tilavuus (m ³)	24,0	25,4	26,8	29,5	30,2	33,6
Muuntajan paino (kg)	14 100	15 000	16 000	17 800	18 200	20 500
Muuntajan hintaindeksi	159,2	168,0	177,0	194,8	199,2	221,4
Käytön tilavuus (m ³)	125,8	128,6	131,3	139,8	141,1	148,0
Käytön paino (kg)	52 300	54 100	56 100	60 900	61 700	66 300
Käytön hintaindeksi	1667,4	1685,0	1703,0	1798,6	1807,4	1851,8
Tilavuus/potkuriteho (m ³ /W)	12,6	11,1	10,2	9,3	9,2	8,2
Paino/potkuriteho (kg/kW)	5,2	4,7	4,4	4,1	4,0	3,7
Hintaindeksi/potkuriteho (/W)	166,7	146,0	132,8	119,9	117,4	102,9

Taulukko L8.9

Konttilaivan 12-pulssinen 1000V/1570V muuntajakytkentäinen syklokonvertteri-vakiokäyttö. Generaattorin x_d :a on nostettu oikosulkuvirran pienentämiseksi alle maksimiarvon.

	KÄYTTÖ					
	Minimipiste	Piste 2	Piste 3	Piste 4	Piste 5	Maksimipiste
Potkuriteho (kW)	20 000	23 085	25 650	30 000	30 780	36 001
Minimipotkuriteho (kW)	20 000					
Maksipotkuriteho (kW) (Päätaulu)	44 869					
M-Syklo-12-pulssi/1000V (kVA)	11 696	13 500	15 000	17 544	18 000	21 053
Käytettävä suuntaaja (kVA)	17 544	17 544	17 544	17 544	21 053	21 053
Suuntaajan tilavuus (m ³)	29,0	29,0	29,0	29,0	31,4	31,4
Suuntaajan paino (kg)	10 000	10 000	10 000	10 000	10 800	10 800
Suuntaajan hintaindeksi	660,0	660,0	660,0	660,0	700,0	700,0
Generaattoriteho (kVA)	41 859	48 316	53 684	62 789	64 421	75 348
Yhden generaattorin teho (kVA)	10 465	12 079	13 421	15 697	16 105	18 837
Yhden generaattorin virta (A)	915	1 057	1 174	1 373	1 409	1 648
cos φ	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Xd"	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,17
Moottoriteho (kW)	10 000	11 543	12 825	15 000	15 390	18 000
Moottorivirta (A)	3 677	4 245	4 716	5 516	5 660	6 619
Moottorien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Käämien lukumäärä/moottori	1	1	1	1	1	1
Päätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu
Päätaulun jännite (V)	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600
P-moottorin ottama virta (A)	1 114	1 286	1 429	1 672	1 715	2 006
Kiskoston maksimivirta (A)	2 746	3 170	3 522	4 119	4 227	4 943
Oikosulkuvirta (A)	24 412	28 177	31 308	36 617	37 569	38 772
Oikosulkuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Päätaulukentät:	Generaattoritulot	4	Redundanssi	2	Hotellijärjestelmä	2
	Suuntaajalahdot	2	Magnetointi	0	Suodatus (M/G)	2
Päätaulun jako	1	1	Mittauskentät	2	(arvioitu kiekokatkaisijakentän hinnaksi)	
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätaulun tilavuus (m ³)	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	52,7
Päätaulun paino (kg)	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900
Päätaulun hintaindeksi	549,0	588,0	588,0	588,0	588,0	588,0
Muuntaja (kVA)	17 500	20 000	22 500	26 500	27 000	31 500
Muuntosuhde	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60
Muuntajan tilavuus (m ³)	35,5	38,9	42,3	47,8	48,4	54,8
Muuntajan paino (kg)	21 800	24 000	26 300	29 900	30 400	34 500
Muuntajan hintaindeksi	233,6	255,6	277,6	312,8	317,2	356,8
Käytön tilavuus (m ³)	242,1	255,8	269,4	291,1	298,7	333,7
Käytön paino (kg)	120 100	128 900	138 100	152 500	156 100	172 500
Käytön hintaindeksi	2803,4	2930,4	3018,4	3159,2	3256,8	3415,2
Tilavuus/potkuriteho (m ³ /W)	12,1	11,1	10,5	9,7	9,7	9,3
Paino/potkuriteho (kg/kW)	6,0	5,6	5,4	5,1	5,1	4,8
Hintaindeksi/potkuriteho (/W)	140,2	126,9	117,7	105,3	105,8	94,9

Taulukko L8.10

Konttilaivan 6-pulssinen 1200V/1870V muuntajakytkentäinen syklokonvertteri-vakiokäyttö

	KÄYTTÖ					
	Minimipiste	Piste 2	Piste 3	Piste 4	Piste 5	Maksimipiste
Potkuriteho (kW)	11 970	13 851	15 732	17 613	19 494	21 999
Minimipotkuriteho (kW)	11 000					
Maksipotkuriteho (kW) (Päätaulu)	53 442					
M-Syklo-6-pulssi/1200V (kVA)	7 000	8 100	9 200	10 300	11 400	12 865
Käytettävä suuntaaja (kVA)	12 865	12 865	12 865	12 865	12 865	12 865
Suuntaajan tilavuus (m ³)	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7
Suuntaajan paino (kg)	6 700	6 700	6 700	6 700	6 700	6 700
Suuntaajan hintaindeksi	380,0	380,0	380,0	380,0	380,0	380,0
Generaattoriteho (kVA)	25 053	28 989	32 926	36 863	40 800	46 043
Yhden generaattorin teho (kVA)	6 263	7 247	8 232	9 216	10 200	11 511
Yhden generaattorin virta (A)	548	634	720	806	892	1 007
cos φ	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Xd"	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Moottoriteho (kW)	5 985	6 926	7 866	8 807	9 747	11 000
Moottorivirta (A)	1 848	2 138	2 429	2 719	3 009	3 396
Moottorien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Päätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu
Päätaulun jännite (V)	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600
P-moottorin ottama virta (A)	560	648	736	824	912	1 029
Kiskoston maksimivirta (A)	1 644	1 902	2 160	2 419	2 677	3 021
Oikosulkuvirta (A)	14 610	16 906	19 202	21 498	23 794	26 852
Oikosulkuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Päätaulukentät:	Generaattoritulot	4	Redundanssi	2	Hotellijärjestelmä	2
	Suuntaajalahdot	2	Magnetointi	0	Suodatus (M/G)	2
Päätaulun jako	1	1	Mittauskentät	2	(arvioitu kiekokatkaisijakentän hinnaksi)	
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätaulun tilavuus (m ³)	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1
Päätaulun paino (kg)	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900
Päätaulun hintaindeksi	549,0	549,0	549,0	549,0	549,0	588,0
Muuntaja (kVA)	10 500	12 000	14 000	15 500	17 000	19 500
Muuntosuhde	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60
Muuntajan tilavuus (m ³)	26,1	28,2	30,9	32,9	35,0	38,2
Muuntajan paino (kg)	15 500	16 900	18 700	20 100	21 400	23 600
Muuntajan hintaindeksi	172,6	185,8	203,6	217,0	230,2	251,2
Käytön tilavuus (m ³)	133,8	137,9	143,4	147,5	151,6	158,1
Käytön paino (kg)	57 300	60 100	63 700	66 500	69 100	73 500
Käytön hintaindeksi	1654,2	1680,6	1716,2	1743,0	1769,4	1850,4
Tilavuus/potkuriteho (m ³ /W)	11,2	10,0	9,1	8,4	7,8	7,2
Paino/potkuriteho (kg/kW)	4,8	4,3	4,0	3,8	3,5	3,3
Hintaindeksi/potkuriteho (/W)	138,2	121,3	109,1	99,0	90,8	84,1

Taulukko L8.11

Konttilaivan 12-pulssinen 1200V/1870V muuntajakytkenäinen syklokonvertteri-vakiokäyttö. Generaattorin x_d :a on nostettu oikosulkuvirran pienentämiseksi alle maksimiarvon.

	KÄYTTÖ					
	Minimipiste	Piste 2	Piste 3	Piste 4	Piste 5	Maksimipiste
Potkuriteho (kW)	23 940	27 702	31 464	35 226	38 988	44 000
Minimipotkuriteho (kW)	23 000					
Maksipotkuriteho (kW) (Päätaulu)	53 442					
M-Syklo-12-pulssi/1200V (kVA)	14 000	16 200	18 400	20 600	22 800	25 731
Käytettävä suuntaaja (kVA)	25 731	25 731	25 731	25 731	25 731	25 731
Suuntaajan tilavuus (m ³)	32,3	32,3	32,3	32,3	32,3	32,3
Suuntaajan paino (kg)	12 000	12 000	12 000	12 000	12 000	12 000
Suuntaajan hintaindeksi	600,0	600,0	600,0	600,0	600,0	600,0
Generaattoriteho (kVA)	50 105	57 979	65 853	73 726	81 600	92 090
Yhden generaattorin teho (kVA)	12 526	14 495	16 463	18 432	20 400	23 022
Yhden generaattorin virta (A)	1 096	1 268	1 440	1 612	1 785	2 014
cos φi	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Xd"	0,15	0,15	0,15	0,17	0,18	0,21
Moottoriteho (kW)	11 970	13 851	15 732	17 613	19 494	22 000
Moottorivirta (A)	3 696	4 276	4 857	5 438	6 019	6 792
Moottorien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Käämien lukumäärä/moottori	1	1	1	1	1	1
Päätaulu	Väljännitepäätaulu	Väljännitepäätaulu	Väljännitepäätaulu	Väljännitepäätaulu	Väljännitepäätaulu	Väljännitepäätaulu
Päätaulun jännite (V)	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600
P-moottorin ottama virta (A)	1 120	1 296	1 472	1 648	1 824	2 058
Kiskoston maksimivirta (A)	3 287	3 804	4 320	4 837	5 354	6 042
Oikosulkuvirta (A)	29 220	33 812	38 404	37 938	39 656	38 361
Oikosulkuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Päätaulukentät:	Generaattoritilat	4	Redundanssi	2	Hotelliinjohtamis	2
	Suuntaajalahdot	2	Magneettit	0	Suodatus (M/G)	2
	Päätaulun jako	1	Mittauskentät	2	(arvioitu kiskokatkaisijakentän hinnaksi)	
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätaulun tilavuus (m ³)	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	52,7
Päätaulun paino (kg)	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900
Päätaulun hintaindeksi	588,0	588,0	588,0	588,0	588,0	588,0
Muuntaja (kVA)	21 000	24 500	27 500	31 000	34 000	38 500
Muuntosuhte	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60
Muuntaajan tilavuus (m ³)	49,3	45,0	49,1	53,9	58,0	64,1
Muuntaajan paino (kg)	25 000	28 100	30 800	34 000	36 700	40 800
Muuntaajan hintaindeksi	264,4	295,2	321,6	352,4	379,0	418,6
Käytön tilavuus (m ³)	267,8	286,9	303,2	322,2	338,6	373,6
Käytön paino (kg)	136 900	149 300	160 100	172 900	183 700	200 100
Käytön hintaindeksi	2845,6	2968,8	3074,4	3197,6	3304,0	3462,4
Tilavuus/potkuriteho (m ³ /W)	11,2	10,4	9,6	9,1	8,7	8,5
Paino/potkuriteho (kg/kW)	5,7	5,4	5,1	4,9	4,7	4,5
Hintaindeksi/potkuriteho (W)	118,9	107,2	97,7	90,8	84,7	78,7

Taulukko L8.12

Konttilaivan 6-pulssinen välijännitesyklokonvertteri-vakiokäyttö. Tummennetulla alueella päätaulun virtaraja ylitetään, joten käyttö ei ole mahdollinen. Lisäksi päätaulun oikosulkuvirtaraja ylitetään.

	KÄYTTÖ					
	Minimipiste	Piste 2	Piste 3	Piste 4	Piste 5	Maksimipiste
Potkuriteho (kW)	17 999	22 230	26 650	30 000	41 040	50 000
Minimipotkuriteho (kW)	17 000					
Maksipotkuriteho (kW) (Päätaulu)	38 971					
V-Syklo-6-pulssi (kVA)	10 526	13 000	15 000	17 544	24 000	29 240
Käytettävä suuntaaja (kVA)	17 544	17 544	17 544	17 544	29 240	29 240
Suuntaajan tilavuus (m ³)	31,7	31,7	31,7	31,7	31,7	31,7
Suuntaajan paino (kg)	8 900	8 900	8 900	8 900	8 900	8 900
Suuntaajan hintaindeksi	1150,0	1150,0	1150,0	1150,0	1230,0	1230,0
Generaattoriteho (kVA)	40 363	49 850	57 519	67 274	82 030	112 123
Yhden generaattorin teho (kVA)	10 091	12 462	14 380	16 818	20 508	28 031
Yhden generaattorin virta (A)	883	1 090	1 258	1 471	2 013	2 462
cos φi	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Xd"	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Moottoriteho (kW)	9 000	11 115	12 825	15 000	20 820	28 000
Moottorivirta (A)	577	713	823	962	1 318	1 804
Moottorien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Päätaulu	Väljännitepäätaulu	Väljännitepäätaulu	Väljännitepäätaulu	Väljännitepäätaulu	Väljännitepäätaulu	Väljännitepäätaulu
Päätaulun jännite (V)	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600
P-moottorin ottama virta (A)	1 155	1 426	1 645	1 925	2 633	3 208
Kiskoston maksimivirta (A)	2 648	3 271	3 774	4 414	6 038	7 366
Oikosulkuvirta (A)	23 539	29 071	33 544	39 233	53 670	66 388
Oikosulkuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Päätaulukentät:	Generaattoritilat	4	Redundanssi	2	Hotelliinjohtamis	2
	Suuntaajalahdot	2	Magneettit	0	Suodatus (M/G)	2
	Päätaulun jako	1	Mittauskentät	2	(arvioitu kiskokatkaisijakentän hinnaksi)	
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätaulun tilavuus (m ³)	42,1	42,1	42,1	42,1	52,7	52,7
Päätaulun paino (kg)	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900
Päätaulun hintaindeksi	537,0	576,0	576,0	576,0	576,0	576,0
Kommutointikuristin						
Huom! Vakiokuristin						
Kuristimen tilavuus (m ³)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Kuristimen paino (kg)	9 000	9 000	9 000	9 000	9 000	9 000
Kuristimen hintaindeksi	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0
Nollakuristin						
Huom! Vakiokuristin						
Kuristimen tilavuus (m ³)	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
Kuristimen paino (kg)	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000
Kuristimen hintaindeksi	140,0	140,0	140,0	140,0	140,0	140,0
Käytön tilavuus (m ³)	144	144	144	144	154	164
Käytön paino (kg)	60 700	60 700	60 700	60 700	62 700	62 700
Käytön hintaindeksi	3 357	3 396	3 396	3 396	3 566	3 566
Tilavuus/potkuriteho (m ³ /W)	8,0	6,5	5,6	4,8	3,8	3,1
Paino/potkuriteho (kg/kW)	3,4	2,7	2,4	2,0	1,5	1,3
Hintaindeksi/potkuriteho (W)	186,5	152,8	132,4	113,2	88,9	71,1

Liite 9 Lauttakäytöt

Taulukko L9.1 Lautan oletukset

LAUTTA (RoRo/Ropax)					
Potkurin nopeus (RPM)	160				
Omega w	16,76				
Generaattoriteho / Potkuriteho syklo	1,5				
Potkurien lukumäärä	2				
Generaattorien lukumäärä	4				

Taulukko 9.2 Lautan 6-pulssinen ACS600-vakiokäyttö. Tummennetulla alu-
eella päätaulun virtaraja ylitetään, joten käyttö ei ole mahdolli-
nen.

	KÄYTTÖ					
	Minimipiste	Piste 2	Piste 3	Piste 4	Piste 5	Maksimipiste
Potkuriteho (kW)	1 454	1 890	2 326	2 907	3 343	3 634
Minimipotkuriteho (kW)	1 400					
Maksipotkuriteho (kW) (Päätaulu)	3 300					
ACS600-6-pulssi (kVA)	1 000	1 300	1 600	2 000	2 300	2 500
Käytettävä suuntaaja (kVA)	1 582	1 582	1 966	2 354	2 354	2 580
Suuntaajan tilavuus (m^3)	7,7	7,7	8,9	8,9	8,9	10,2
Suuntaajan paino (kg)	3 260	3 260	3 960	3 960	3 960	4 460
Suuntaajan hintaindeksi	124,0	124,0	134,6	148,0	148,0	173,6
Generaattoriteho Yht. (kVA)	2 786	3 622	4 458	5 573	6 409	6 966
Yhden generaattorin teho (kVA)	697	906	1 115	1 393	1 602	1 741
Yhden generaattorin virta (A)	583	758	933	1 166	1 341	1 457
Cos fi	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Xd"	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Moottoriteho (kW)	727	945	1 163	1 454	1 672	1 817
Moottorivirta (A)	793	1 031	1 268	1 585	1 823	1 982
Moottorien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Päätaulu	MHS-pienjännite	MHS-pienjännite	MHS-pienjännite	MHS-pienjännite	MHS-pienjännite	MHS-pienjännite
Päätaulun jännite (V)	690	690	690	690	690	690
P-moottorin ottama virta (A)	793	1 031	1 268	1 585	1 823	1 982
Kiskoston maksimivirta (A)	1 749	2 273	2 798	3 497	4 022	4 372
Oikosulkuvirta (A)	15 543	20 206	24 869	31 086	35 749	38 858
Oikosulkuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Päätaulukentät:	Generaattoritilat	2	Radundaasi	2	Hotelli/järjestelmä	2
	Suuntaajalähdet	2	Magneettit	0	Suodatus (M/G)	2
	Pastaulun jako	1	Mittauskentät	2	(arviointi kikkokatkajajärjestelmän tilinäk)	
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätaulun tilavuus (m^3)	21,1	21,1	39,6	39,6	39,6	39,6
Päätaulun paino (kg)	5 450	5 450	8 250	8 250	8 250	8 250
Päätaulun hintaindeksi	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0
Muuntaja (kVA)	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole
Vaihte						
Moottorin vääntömomentti P=WT => T=P/w (kNm)	6,20	8,06	9,91	12,39	14,25	15,49
Vaihteen välityssuhde	7	7	7	7	7	7
Vaihteen tilavuus (m^3)	6,8	6,9	7,0	7,2	7,3	7,4
Vaihteen paino (kg)	5 700	6 000	6 300	6 700	7 000	7 300
Vaihteen hintaindeksi	81,0	86,8	92,4	100,0	105,6	109,4
Käytön tilavuus (m^3)	50,0	50,3	71,5	71,8	72,1	74,8
Käytön paino (kg)	23 400	24 000	28 800	29 600	30 200	31 600
Käytön hintaindeksi	508,0	519,6	552,0	594,0	605,2	664,0
Tilavuus/potkuriteho (m^3/W)	34,4	26,6	30,8	24,7	21,6	20,9
Paino/potkuriteho (kg/kW)	16,1	12,7	12,4	10,2	9,0	8,7
Hintaindeksi/potkuriteho (/W)	349,5	275,0	237,4	204,3	181,0	182,7

Taulukko L9.3 Lautan 12-pulssinen ACS600-vakiokäyttö

	KÄYTTÖ					
	Minimipiste	Piste 2	Piste 3	Piste 4	Piste 5	Maksimipiste
Potkuriteho (kW)	1 454	2 616	3 634	4 797	5 814	6 911
Minimipotkuriteho (kW)	1 400					
Maksipotkuriteho (kW) (Suuntaaja)	6 911					
ACS600-12-pulssi (kVA)	1 000	1 800	2 500	3 300	4 000	4 755
Käytettävä suuntaaja (kVA)	1 582	1 966	2 590	3 589	4 755	4 755
Suuntaajan tilavuus (m ³)	9,7	11,0	12,3	15,1	15,1	15,1
Suuntaajan paino (kg)	4 050	4 760	5 260	7 260	7 260	7 260
Suuntaajan hintaindeksi	124,0	152,6	183,8	267,2	295,0	295,0
Generaattoriteho (kVA)	2 786	5 015	6 966	9 185	11 148	13 249
Yhden generaattorin teho (kVA)	697	1 254	1 741	2 299	2 786	3 312
Yhden generaattorin virta (A)	122	219	305	402	487	580
cos ϕi	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Xd''	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Moottoriteho (kW)	727	1 308	1 817	2 398	2 907	3 456
Moottorivirta (A)	1 585	2 854	3 964	5 232	6 342	7 539
Moottorien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Päätaulu	MHS-pienjännite	MHS-pienjännite	MHS-pienjännite	MHS-pienjännite	MHS-pienjännite	MHS-pienjännite
Päätaulun jännite (V)	3 300	3 300	3 300	3 300	3 300	3 300
P-moottorin ottama virta (A)	166	288	414	547	663	788
Kiskoston maksimivirta (A)	366	658	914	1 207	1 492	1 739
Oikosulkuvirta (A)	3 250	5 850	8 125	10 725	13 000	15 453
Oikosulkuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Päätaulukentät:	Generaattoritulot	4	Redundanssi	2	Hotelliinjastoima	2
	Suuntaajalahdot	2	Magneetointi	0	Suodatus (M/G)	2
	Päätaulun jako	1	Mittauskentät	2	(arvioitu kiskokatkaisijakentän hinnaksi)	2
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätaulun tilavuus (m ³)	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1
Päätaulun paino (kg)	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900
Päätaulun hintaindeksi	541,0	541,0	541,0	541,0	541,0	541,0
Muuntaja (kVA)	1000	2000	2500	3500	4000	5000
Muuntosuhde	9,57	9,57	9,57	9,57	9,57	9,57
Yliaaltokerroin	0,90	0,87	0,87	0,85	0,85	0,85
Vertailukokero						
Tilavuus	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Paino	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Hinta	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Muuntajan tilavuus (m ³)	11,2	14,4	15,8	19,0	20,6	23,9
Muuntajan paino (kg)	3 700	5 800	6 700	8 800	9 900	12 000
Muuntajan hintaindeksi	61,8	89,6	102,3	130,4	144,5	172,6
Vaihde						
Moottorin vääntömomentti P=wT	6,20	11,15	15,49	20,45	24,79	29,46
=> T=P/w (kNm)						
Vaihteen välityssuhde	7	7	7	7	7	7
Vaihteen tilavuus (m ³)	6,8	7,1	7,4	7,7	8,0	8,3
Vaihteen paino (kg)	5 700	6 500	7 200	7 900	8 600	9 300
Vaihteen hintaindeksi	81,0	96,2	109,4	124,4	137,6	151,8
Käytön tilavuus (m ³)	97,6	107,1	113,1	125,8	129,5	136,5
Käytön paino (kg)	39 800	47 000	51 200	60 800	64 400	70 000
Käytön hintaindeksi	1074,6	1217,8	1332,0	1585,0	1695,1	1779,8
Tilavuus/potkuriteho (m ³ /W)	67,1	40,9	31,1	26,2	22,3	19,8
Paino/potkuriteho (kg/kW)	27,4	18,0	14,1	12,7	11,1	10,1
Hintaindeksi/potkuriteho (/W)	739,3	465,5	366,6	330,5	291,6	257,5

Taulukko L9.4 Lautan 6-pulssinen SAMI MegaStar-vakiokäyttö

	KÄYTTÖ					
	Minimipiste	Piste 2	Piste 3	Piste 4	Piste 5	Maksimipiste
Potkuriteho (kW)	2 035	4 070	6 686	9 137	11 919	14 535
Minimipotkuriteho (kW)	2 000					
Maksipotkuriteho (kW) (Moottori)	16 000					
SAMI MegaStar-6-pulssi (kVA)	1 400	2 800	4 600	6 300	8 200	10 000
Käytettävä suuntaaja (kVA)	2 000	3 150	5 000	6 300	10 000	10 000
Suuntaajan tilavuus (m ³)	12,1	12,1	13,6	19,7	23,5	23,5
Suuntaajan paino (kg)	4 000	4 200	4 600	7 000	8 200	8 200
Suuntaajan hintaindeksi	220,0	250,0	270,0	390,0	470,0	470,0
Generaattoriteho (kVA)	3 901	7 802	12 817	17 554	22 848	27 864
Yhden generaattorin teho (kVA)	975	1 950	3 204	4 389	5 712	6 966
Yhden generaattorin virta (A)	171	341	561	768	999	1 219
cos ϕi	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Xd''	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Moottoriteho (kW)	1017,45	2034,90	3343,05	4578,53	5959,35	7267,50
Moottorivirta (A)	232,05	464,09	762,43	1044,20	1359,12	1657,46
Moottorien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Päätaulu	Vaijannitepaatulu	Vaijannitepaatulu	Vaijannitepaatulu	Vaijannitepaatulu	Vaijannitepaatulu	Vaijannitepaatulu
Päätaulun jännite (V)	3300	3300	3300	3300	3300	3300
P-moottorin ottama virta (A)	232	464	762	1044	1359	1657
Kiskoston maksimivirta (A)	512	1024	1682	2303	2998	3656
Oikosulkuvirta (A)	4550	9100	14950	20475	26649	32499
Oikosulkuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Päätaulukentät:	Generaattoritulot	4	Redundanssi	2	Hotelliinjastoima	2
	Suuntaajalahdot	2	Magneetointi	0	Suodatus (M/G)	2
	Päätaulun jako	1	Mittauskentät	2	(arvioitu kiskokatkaisijakentän hinnaksi)	2
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätaulun tilavuus (m ³)	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1
Päätaulun paino (kg)	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900
Päätaulun hintaindeksi	541,0	541,0	541,0	541,0	580,0	580,0
Muuntaja (kVA)	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole	ei ole
Vaihde						
Moottorin vääntömomentti P=wT	8,67	17,35	28,50	39,04	50,81	61,96
=> T=P/w (kNm)						
Vaihteen välityssuhde	7	7	7	7	7	7
Vaihteen tilavuus (m ³)	6,9	7,5	8,2	8,9	9,6	10,3
Vaihteen paino (kg)	6 100	7 500	9 200	10 800	12 600	14 300
Vaihteen hintaindeksi	88,6	115,0	149,0	181,0	216,8	250,6
Käytön tilavuus (m ³)	80,3	81,4	85,7	99,3	108,2	109,6
Käytön paino (kg)	33 100	36 300	40 500	48 500	54 500	57 900
Käytön hintaindeksi	1158,2	1271,0	1379,0	1683,0	1953,6	2021,2
Tilavuus/potkuriteho (m ³ /W)	39,5	20,0	12,8	10,8	9,1	7,5
Paino/potkuriteho (kg/kW)	16,3	8,9	6,1	5,3	4,6	4,0
Hintaindeksi/potkuriteho (/W)	569,2	312,3	206,2	183,8	163,9	139,1

Taulukko L9.5

Lautan 12-pulssinen SAMI MegaStar-vakiokäyttö

	KÄYTTÖ					
	Minimipisto	Pisto 2	Pisto 3	Pisto 4	Pisto 5	Maksimipisto
Potkuriteho (kW)	2 035	4 070	6 686	9 157	11 919	14 535
Minimipotkuriteho (kW)	2 000					
Maksipotkuriteho (kW) (Moottori)	16 000					
SAMI MegaStar-12-pulssi (kVA)	1 400	2 800	4 600	6 300	8 200	10 000
Käytettävä suuntaaja (kVA)	2 000	3 150	5 000	6 300	10 000	10 000
Suuntaajan tilavuus (m ³)	12,1	12,1	13,6	19,7	23,5	23,5
Suuntaajan paino (kg)	4 000	4 200	4 600	7 000	8 200	8 200
Suuntaajan hintaindeksi	220,0	250,0	270,0	390,0	470,0	470,0
Generaattoriteho (kVA)	3 901	7 802	12 817	17 554	22 848	27 864
Yhden generaattorin teho (kVA)	975	1 950	3 204	4 389	5 712	6 966
Yhden generaattorin virta (A)	85	171	280	384	500	609
cos φ	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Xd"	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Moottoriteho (kW)	1017,45	2034,90	3343,05	4578,53	5959,35	7267,50
Moottorivirta (A)	887,82	1775,65	2917,14	3995,21	5200,12	6341,90
Moottorien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Päätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu
Päätaulun jännite (V)	6600	6600	6600	6600	6600	6600
P-moottorin ottama virta (A)	116	232	381	522	680	829
Kiskoston maksimivirta (A)	256	512	841	1152	1499	1828
Oikosuikuvirta (A)	2275	4550	7475	10237	13325	16250
Oikosuikuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Päätaulukentät:	Generaattoritulot	4	Redundanssi	2	Hotelli järjestelmä	2
	Suuntaajalähdöt	2	Magnetointi	0	Suodatus (M/G)	2
	Päätaulun jako	1	Mittauskentät	2	(arvioitu kiskokatkaisijakentän hinnaksi)	2
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätaulun tilavuus (m ³)	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1
Päätaulun paino (kg)	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900
Päätaulun hintaindeksi	529,0	529,0	529,0	529,0	529,0	529,0
Muuntaja (kVA)	1500	3000	4500	6500	8500	10000
Muuntosuhde	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83
Yliaaltokerroin	0,90	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Vertailukokero						
Tilavuus	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Paino	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Hinta	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Muuntajan tilavuus (m ³)	13,7	18,7	23,8	30,7	37,6	42,7
Muuntajan paino (kg)	3 300	5 400	7 600	10 600	13 500	15 700
Muuntajan hintaindeksi	39,1	60,5	82,4	111,7	140,9	162,8
Vaihe						
Moottorin vääntömomentti P _{swT}	8,67	17,35	28,50	39,04	50,81	61,96
=> T=P/w (kNm)						
Vaihteen välityssuhde	7	7	7	7	7	7
Vaihteen tilavuus (m ³)	6,9	7,5	8,2	8,9	9,6	10,3
Vaihteen paino (kg)	6 100	7 500	9 200	10 800	12 500	14 300
Vaihteen hintaindeksi	88,6	115,0	149,0	181,0	216,8	250,6
Käytön tilavuus (m ³)	107,6	118,8	133,4	160,7	183,4	195,1
Käytön paino (kg)	39 700	47 100	55 700	69 700	81 500	89 300
Käytön hintaindeksi	1224,4	1380,0	1531,9	1894,3	2184,4	2295,8
Tilavuus/potkuriteho (m ³ /W)	52,9	29,2	19,9	17,6	15,4	13,4
Paino/potkuriteho (kg/kW)	19,5	11,6	8,3	7,6	6,8	6,1
Hintaindeksi/potkuriteho (/W)	601,7	339,1	229,1	206,9	183,3	157,9

Taulukko L9.6

Lautan 6-pulssinen PWM-tahtikoneoptio-vakiokäyttö

	KÄYTTÖ					
	Minimipisto	Pisto 2	Pisto 3	Pisto 4	Pisto 5	Maksimipisto
Potkuriteho (kW)	6 840	8 550	10 260	11 970	13 680	15 390
Minimipotkuriteho (kW)	6 000					
Maksipotkuriteho (kW) (Päätaulu)	19 930					
PWM-tahtikoneoptio-6-pulssi (kVA)	4 000	5 000	6 000	7 000	8 000	9 000
Käytettävä suuntaaja (kVA)	6 000	6 000	6 000	9 000	9 000	9 000
Suuntaajan tilavuus (m ³)	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8
Suuntaajan paino (kg)	4 500	4 500	4 500	4 500	4 500	4 500
Suuntaajan hintaindeksi	390,0	390,0	390,0	465,2	465,2	465,2
Generaattoriteho (kVA)	11 146	13 932	16 718	19 505	22 291	25 077
Yhden generaattorin teho (kVA)	2 786	3 483	4 180	4 876	5 573	6 269
Yhden generaattorin virta (A)	536	670	804	938	1 072	1 207
cos φ	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Xd"	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Moottoriteho (kW)	3 420	4 275	5 130	5 985	6 840	7 695
Moottorivirta (A)	729	912	1 094	1 276	1 459	1 641
Moottorien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Päätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu	Valjännitepäätaulu
Päätaulun jännite (V)	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000
P-moottorin ottama virta (A)	729	912	1 094	1 276	1 459	1 641
Kiskoston maksimivirta (A)	1 609	2 011	2 413	2 815	3 217	3 620
Oikosuikuvirta (A)	14 300	17 875	21 450	25 024	28 599	32 174
Oikosuikuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Päätaulukentät:	Generaattoritulot	4	Redundanssi	2	Hotelli järjestelmä	2
	Suuntaajalähdöt	2	Magnetointi	0	Suodatus (M/G)	2
	Päätaulun jako	1	Mittauskentät	2	(arvioitu kiskokatkaisijakentän hinnaksi)	2
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätaulun tilavuus (m ³)	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1
Päätaulun paino (kg)	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900
Päätaulun hintaindeksi	541,0	541,0	541,0	580,0	580,0	580,0
AFU-kuristinta vastaava muuntaja (kVA)	4 500	5 500	7 000	8 000	9 000	10 000
Suhteellinen induktanssi	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Kuristimen tilavuus (m ³)	25,8	29,1	34,2	37,5	40,9	44,3
Kuristimen paino (kg)	9 600	10 800	12 600	13 800	15 000	16 200
Kuristimen hintaindeksi	104,2	113,7	127,8	137,3	146,7	156,2
Käytön tilavuus (m ³)	125,4	132,1	142,2	148,9	155,6	162,4
Käytön paino (kg)	41 100	43 500	47 100	49 500	51 900	54 300
Käytön hintaindeksi	1529,4	1548,3	1576,7	1785,0	1803,9	1822,8
Tilavuus/potkuriteho (m ³ /W)	18,3	15,4	13,9	12,4	11,4	10,6
Paino/potkuriteho (kg/kW)	6,0	5,1	4,6	4,1	3,8	3,5
Hintaindeksi/potkuriteho (/W)	223,6	181,1	153,7	149,1	131,9	118,4

Taulukko L9.7 *Lautan 12-pulssinen PWM-tahtikoneoptio-vakiokäyttö. Tummennetulla alueella päätaulun virtaraja ylitetään, joten käyttö ei ole mahdollinen.*

	KÄYTTÖ					
	Minimipiste	Piste 2	Piste 3	Piste 4	Piste 5	Maksimipiste
Potkuriteho (kW)	15 390	17 955	20 520	23 940	27 360	30 780
Minimipotkuriteho (kW)	15 000					
Maksipotkuriteho (kW) (Päätaulu)	21 924					
PWM-tahtikoneoptio-12-pulssi (kVA)	9 000	10 500	12 000	14 000	16 000	18 000
Käytettävä suuntaaja (kVA)	12 000	12 000	12 000	15 000	18 000	18 000
Suuntaajan tilavuus (m ³)	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4
Suuntaajan paino (kg)	7 500	7 500	7 500	7 500	7 500	7 500
Suuntaajan hintaindeksi	702,6	702,6	702,6	817,8	817,8	817,8
Generaattoriteho (kVA)	25 077	29 257	33 437	39 009	44 582	50 155
Yhden generaattorin teho (kVA)	6 269	7 314	8 359	9 732	11 146	12 539
Yhden generaattorin virta (A)	548	640	731	853	975	1 097
cos φi	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Xd''	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Moottoriteho (kW)	15 390	17 955	20 520	23 940	27 360	30 780
Moottorivirta (A)	11 415	13 317	15 220	17 756	20 293	22 830
Moottorien lukumäärä	1	1	1	1	1	1
Käämien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Päätaulu	Valjaintepaastaulu	Valjaintepaastaulu	Valjaintepaastaulu	Valjaintepaastaulu	Valjaintepaastaulu	Valjaintepaastaulu
Päätaulun jännite (V)	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600
P-mootorin ottama virta (A)	1 492	1 740	1 989	2 320	2 652	2 983
Kiskoston maksimivirta (A)	1 645	1 919	2 194	2 559	2 925	3 291
Oikosulkuvirta (A)	14 625	17 062	19 500	22 750	25 999	29 249
Oikosulkuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Päätaulukentät:	Generaattoritulot	4	Redundanmi	2	Hotelli(järjestelmä	2
	Suuntaajalähdöt	2	Magnetointi	0	Suodatus (M/G)	2
	Päätaulun jako	1	Mittauskentät	2	(arviointi kiskokatkaisijakentän hinnaksi)	
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätaulun tilavuus (m ³)	42,1	42,1	42,1	52,7	52,7	52,7
Päätaulun paino (kg)	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900
Päätaulun hintaindeksi	541,0	541,0	541,0	541,0	530,0	530,0
Muuntaja (kVA)	19 000	23 000	26 000	30 000	34 000	39 000
Muuntosuhde	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83
16-pulssimuuntaja	9 500	11 500	13 000	15 000	17 000	19 500
Yliaaltokerroin	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Muuntaajan tilavuus (m ³)	85,2	98,6	108,7	122,2	136,7	152,6
Muuntaajan paino (kg)	31 200	36 000	39 400	44 200	49 000	55 000
Muuntaajan hintaindeksi	303,0	340,8	369,1	406,9	444,7	492,0
Käytön tilavuus (m ³)	267,4	294,3	314,5	352,6	378,9	412,5
Käytön paino (kg)	90 300	99 900	106 700	116 300	125 900	137 600
Käytön hintaindeksi	2552,1	2627,7	2684,4	2990,0	3104,0	3199,1
Tilavuus/potkuriteho (m ³ /W)	17,4	16,4	15,3	14,7	13,8	13,4
Paino/potkuriteho (kg/kW)	5,9	5,6	5,2	4,9	4,6	4,3
Hintaindeksi/potkuriteho (/W)	165,8	146,4	130,8	124,9	112,5	103,9

Taulukko L9.8 *Lautan 6-pulssinen 1000V/1570V muuntajakytkentäinen syklo-konvertteri-vakiokäyttö*

	KÄYTTÖ					
	Minimipiste	Piste 2	Piste 3	Piste 4	Piste 5	Maksimipiste
Potkuriteho (kW)	10 000	11 543	12 825	15 000	15 390	17 999
Minimipotkuriteho (kW)	10 000					
Maksipotkuriteho (kW) (Päätaulu)	44 869					
M-Syklo-6-pulssi/1000V (kVA)	5 848	6 750	7 500	8 772	9 000	10 526
Käytettävä suuntaaja (kVA)	8 772	8 772	8 772	10 526	10 526	10 526
Suuntaajan tilavuus (m ³)	17,8	17,8	17,8	19,3	19,3	19,3
Suuntaajan paino (kg)	5 600	5 600	5 600	6 200	6 200	6 200
Suuntaajan hintaindeksi	400,0	400,0	400,0	430,0	430,0	430,0
Generaattoriteho (kVA)	18 467	21 316	23 684	27 701	28 421	33 240
Yhden generaattorin teho (kVA)	4 617	5 329	5 921	6 925	7 105	8 310
Yhden generaattorin virta (A)	404	466	518	606	622	727
cos φi	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Xd''	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Moottoriteho (kVA)	5 000	5 771	6 413	7 500	7 695	9 000
Moottorivirta (A)	1 839	2 122	2 358	2 758	2 830	3 310
Moottorien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Päätaulu	Valjaintepaastaulu	Valjaintepaastaulu	Valjaintepaastaulu	Valjaintepaastaulu	Valjaintepaastaulu	Valjaintepaastaulu
Päätaulun jännite (V)	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600
P-mootorin ottama virta (A)	557	643	715	836	858	1 003
Kiskoston maksimivirta (A)	1 212	1 398	1 554	1 817	1 865	2 181
Oikosulkuvirta (A)	10 770	12 431	13 812	16 155	16 575	19 385
Oikosulkuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Päätaulukentät:	Generaattoritulot	4	Redundanmi	2	Hotelli(järjestelmä	2
	Suuntaajalähdöt	2	Magnetointi	0	Suodatus (M/G)	2
	Päätaulun jako	1	Mittauskentät	2	(arviointi kiskokatkaisijakentän hinnaksi)	
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätaulun tilavuus (m ³)	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1
Päätaulun paino (kg)	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900
Päätaulun hintaindeksi	549,0	549,0	549,0	549,0	549,0	549,0
Muuntaja (kVA)	9 000	10 000	11 000	13 000	13 500	16 000
Muuntosuhde	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60
Muuntaajan tilavuus (m ³)	24,0	25,4	26,8	29,5	30,2	33,6
Muuntaajan paino (kg)	14 100	15 000	16 000	17 800	18 200	20 500
Muuntaajan hintaindeksi	159,2	168,0	177,0	194,8	199,2	221,4
Käytön tilavuus (m ³)	125,8	128,6	131,3	139,8	141,1	148,0
Käytön paino (kg)	52 300	54 100	56 100	60 900	61 700	66 300
Käytön hintaindeksi	1667,4	1685,0	1703,0	1798,6	1807,4	1851,8
Tilavuus/potkuriteho (m ³ /W)	12,6	11,1	10,2	9,3	9,2	8,2
Paino/potkuriteho (kg/kW)	5,2	4,7	4,4	4,1	4,0	3,7
Hintaindeksi/potkuriteho (/W)	166,7	146,0	132,8	119,9	117,4	102,9

Taulukko L9.9

Lautan 12-pulssinen 1000V/1570V muuntajakytkentäinen syklokonvertteri-vakiokäyttö

	KÄYTTÖ					
	Minimipiste	Piste 2	Piste 3	Piste 4	Piste 5	Maksimipiste
Potkuriteho (kW)	20 000	23 085	25 650	30 000	30 780	36 001
Minimipotkuriteho (kW)	20 000					
Maksipotkuriteho (kW) (Päätaulu)	44 869					
M-Syklo-12-pulssi/1000V (kVA)	11 696	13 500	15 000	17 544	18 000	21 053
Käytettävä suuntaaja (kVA)	17 544	17 544	17 544	17 544	21 053	21 053
Suuntaajan tilavuus (m ³)	29,0	29,0	29,0	29,0	31,4	31,4
Suuntaajan paino (kg)	10 000	10 000	10 000	10 000	10 800	10 800
Suuntaajan hintaindeksi	660,0	660,0	660,0	660,0	700,0	700,0
Generaattoriteho (kVA)	36 935	42 632	47 368	55 402	56 842	66 483
Yhden generaattorin teho (kVA)	9 234	10 658	11 842	13 851	14 211	16 621
Yhden generaattorin virta (A)	808	932	1 036	1 212	1 243	1 454
cos φ	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Xd"	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Moottoriteho (kW)	10 000	11 543	12 825	15 000	15 390	18 000
Moottorivirta (A)	3 677	4 245	4 716	5 516	5 660	6 619
Moottorien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Käämien lukumäärä/moottori	2	2	2	2	2	2
Päätaulu	Valijännitepäätaulu	Valijännitepäätaulu	Valijännitepäätaulu	Valijännitepäätaulu	Valijännitepäätaulu	Valijännitepäätaulu
Päätaulun jännite (V)	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600
P-moottorin ottama virta (A)	1 114	1 286	1 429	1 672	1 715	2 006
Kiskoston maksimivirta (A)	2 423	2 797	3 108	3 635	3 729	4 362
Oikosulkuvirta (A)	21 540	24 862	27 624	32 310	33 149	38 772
Oikosulkuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Päätaulukentät:	Generaattoritulot	4	Redundanssi	2	Hotelli-järjestelmä	2
	Suuntaajalähdöt	2	Magneetointi	0	Suodatus (M/G)	2
	Päätaulun jako	1	Mittauskentät	2	(arvioitu kiskokatkaisijakentän hinnaksi)	
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätaulun tilavuus (m ³)	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	52,7
Päätaulun paino (kg)	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900
Päätaulun hintaindeksi	549,0	549,0	588,0	588,0	588,0	588,0
Muuntaja (kVA)	17 500	20 000	22 500	26 500	27 000	31 500
Muuntosuhde	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60
Muuntajan tilavuus (m ³)	35,5	38,9	42,3	47,8	48,4	54,6
Muuntajan paino (kg)	21 800	24 000	26 300	29 900	30 400	34 500
Muuntajan hintaindeksi	233,6	255,6	277,6	312,8	317,2	356,8
Käytön tilavuus (m ³)	242,1	255,8	269,4	291,1	298,7	333,7
Käytön paino (kg)	120 100	128 900	138 100	152 500	156 100	172 500
Käytön hintaindeksi	2803,4	2891,4	3018,4	3159,2	3256,8	3415,2
Tilavuus/potkuriteho (m ³ /W)	12,1	11,1	10,5	9,7	9,7	9,3
Paino/potkuriteho (kg/kW)	6,0	5,6	5,4	5,1	5,1	4,8
Hintaindeksi/potkuriteho (/W)	140,2	125,3	117,7	105,3	105,8	94,9

Taulukko L9.10

Lautan 6-pulssinen 1200V/1870V muuntajakytkentäinen syklokonvertteri-vakiokäyttö

	KÄYTTÖ					
	Minimipiste	Piste 2	Piste 3	Piste 4	Piste 5	Maksimipiste
Potkuriteho (kW)	11 970	13 851	15 732	17 613	19 494	21 999
Minimipotkuriteho (kW)	11 000					
Maksipotkuriteho (kW) (Päätaulu)	53 442					
M-Syklo-6-pulssi/1200V (kVA)	7 000	8 100	9 200	10 300	11 400	12 865
Käytettävä suuntaaja (kVA)	12 865	12 865	12 865	12 865	12 865	12 865
Suuntaajan tilavuus (m ³)	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7
Suuntaajan paino (kg)	6 700	6 700	6 700	6 700	6 700	6 700
Suuntaajan hintaindeksi	380,0	380,0	380,0	380,0	380,0	380,0
Generaattoriteho (kVA)	22 105	25 579	29 053	32 526	36 000	40 626
Yhden generaattorin teho (kVA)	5 526	6 395	7 263	8 132	9 000	10 157
Yhden generaattorin virta (A)	483	559	635	711	787	888
cos φ	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Xd"	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Moottoriteho (kW)	5 985	6 926	7 866	8 807	9 747	11 000
Moottorivirta (A)	1 848	2 138	2 429	2 719	3 009	3 396
Moottorien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Päätaulu	Valijännitepäätaulu	Valijännitepäätaulu	Valijännitepäätaulu	Valijännitepäätaulu	Valijännitepäätaulu	Valijännitepäätaulu
Päätaulun jännite (V)	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600
P-moottorin ottama virta (A)	560	648	736	824	912	1 029
Kiskoston maksimivirta (A)	1 450	1 678	1 906	2 134	2 362	2 665
Oikosulkuvirta (A)	12 891	14 917	16 943	18 969	20 995	23 693
Oikosulkuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Päätaulukentät:	Generaattoritulot	4	Redundanssi	2	Hotelli-järjestelmä	2
	Suuntaajalähdöt	2	Magneetointi	0	Suodatus (M/G)	2
	Päätaulun jako	1	Mittauskentät	2	(arvioitu kiskokatkaisijakentän hinnaksi)	
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätaulun tilavuus (m ³)	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1
Päätaulun paino (kg)	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900
Päätaulun hintaindeksi	549,0	549,0	549,0	549,0	549,0	549,0
Muuntaja (kVA)	10 500	12 000	14 000	15 500	17 000	19 500
Muuntosuhde	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60
Muuntajan tilavuus (m ³)	26,1	28,2	30,9	32,9	35,0	38,2
Muuntajan paino (kg)	15 500	16 900	18 700	20 100	21 400	23 600
Muuntajan hintaindeksi	172,6	185,8	203,6	217,0	230,2	251,2
Käytön tilavuus (m ³)	133,8	137,9	143,4	147,5	151,6	158,1
Käytön paino (kg)	57 300	60 100	63 700	66 500	69 100	73 500
Käytön hintaindeksi	1654,2	1680,6	1716,2	1743,0	1769,4	1811,4
Tilavuus/potkuriteho (m ³ /W)	11,2	10,0	9,1	8,4	7,8	7,2
Paino/potkuriteho (kg/kW)	4,8	4,3	4,0	3,8	3,5	3,3
Hintaindeksi/potkuriteho (/W)	138,2	121,3	109,1	99,0	90,8	82,3

Taulukko L9.11

Lautan 12-pulssinen 1200V/1870V muuntajakytkentäinen syklokonvertteri-vakiokäyttö. Generaattorin x_d'' :a on nostettu oikosulkuvirran pienentämiseksi alle maksimiarvon.

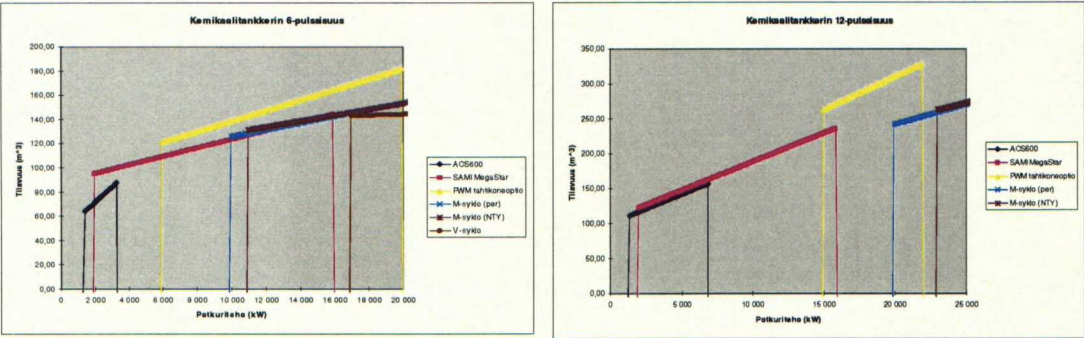
	KÄYTTÖ					
	Minimipiste	Piste 2	Piste 3	Piste 4	Piste 5	Maksimipiste
Potkuriteho (kW)	23 940	27 702	31 464	35 226	38 988	44 000
Minimipotkuriteho (kW)	23 000					
Maksipotkuriteho (kW) (Päätaulu)	53 442					
M-Syklo-12-pulssi/1200V (kVA)	14 000	16 200	18 400	20 600	22 800	25 731
Käytettävä suuntaaja (kVA)	25 731	25 731	25 731	25 731	25 731	25 731
Suuntaajan tilavuus (m ³)	32,3	32,3	32,3	32,3	32,3	32,3
Suuntaajan paino (kg)	12 000	12 000	12 000	12 000	12 000	12 000
Suuntaajan hintaindeksi	600,0	600,0	600,0	600,0	600,0	600,0
Generaattoriteho (kVA)	44 211	51 158	58 105	65 053	72 000	81 256
Yhden generaattorin teho (kVA)	11 053	12 789	14 526	16 263	18 000	20 314
Yhden generaattorin virta (A)	967	1 119	1 271	1 423	1 575	1 777
cos φi	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Xd''	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,18
Moottoriteho (kW)	11 970	13 851	15 732	17 613	19 494	22 000
Moottorivirta (A)	3 696	4 276	4 857	5 438	6 019	6 792
Moottorien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Käämien lukumäärä/moottori	2	2	2	2	2	2
Päätaulu	Väljännitepäätaulu	Väljännitepäätaulu	Väljännitepäätaulu	Väljännitepäätaulu	Väljännitepäätaulu	Väljännitepäätaulu
Päätaulun jännite (V)	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600
P-moottorin ottama virta (A)	1 120	1 296	1 472	1 648	1 824	2 058
Kiskoston maksimivirta (A)	2 901	3 366	3 832	4 298	4 764	5 331
Oikosulkuvirta (A)	25 783	29 834	33 886	37 938	39 365	39 489
Oikosulkuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Päätaulukentät:	Generaattoritilat	4	Redundanasi	2	Hotelli/rajoitama	2
	Suuntaajalahdot	2	Magnetointi	0	Suodatus (M/G)	2
	Päätaulun jako	1	Mittauskentät	2	(arvioidu kilekokatsoijakentän hinnaksi)	
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätaulun tilavuus (m ³)	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1
Päätaulun paino (kg)	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900
Päätaulun hintaindeksi	588,0	588,0	588,0	588,0	588,0	588,0
Muuntaja (kVA)	21 000	24 500	27 500	31 000	34 000	38 500
Muuntosuhde	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60
Muuntajan tilavuus (m ³)	40,3	45,0	49,1	53,9	58,0	64,1
Muuntajan paino (kg)	25 000	28 100	30 800	34 000	36 700	40 800
Muuntajan hintaindeksi	264,4	295,2	321,6	352,4	379,0	418,6
Käytön tilavuus (m ³)	267,8	286,9	303,2	322,2	338,6	373,6
Käytön paino (kg)	136 900	149 300	160 100	172 900	183 700	200 100
Käytön hintaindeksi	2845,6	2968,8	3074,4	3197,6	3304,0	3462,4
Tilavuus/potkuriteho (m ³ /W)	11,2	10,4	9,6	9,1	8,7	8,5
Paino/potkuriteho (kg/kW)	5,7	5,4	5,1	4,9	4,7	4,6
Hintaindeksi/potkuriteho (/W)	118,9	107,2	97,7	90,8	84,7	78,7

Taulukko L9.12

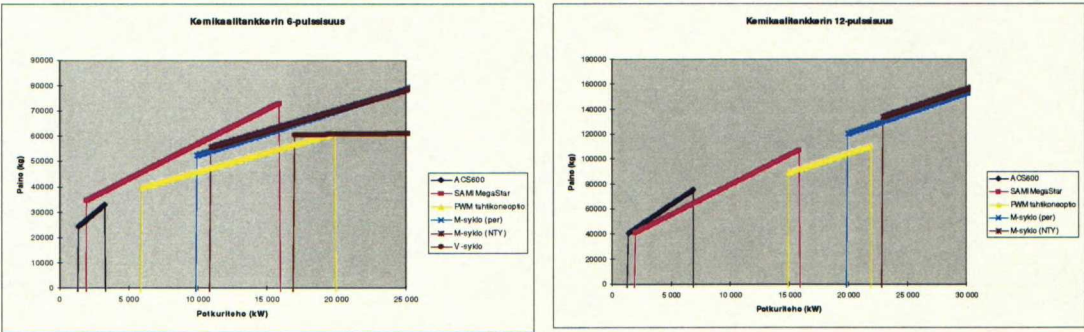
Lautan 6-pulssinen väljännitesyklokonvertteri-vakiokäyttö. Tummennetulla alueella päätaulun virtaraja ylitetään, joten käyttö ei ole mahdollinen. Lisäksi päätaulun oikosulkuvirtaraja ylitetään.

	KÄYTTÖ					
	Minimipiste	Piste 2	Piste 3	Piste 4	Piste 5	Maksimipiste
Potkuriteho (kW)	17 999	22 230	25 650	30 000	41 640	50 000
Minimipotkuriteho (kW)	17 000					
Maksipotkuriteho (kW) (Päätaulu)	38 971					
V-Syklo-6-pulssi (kVA)	10 526	13 000	15 000	17 544	24 000	29 240
Käytettävä suuntaaja (kVA)	17 544	17 544	17 544	17 544	29 240	29 240
Suuntaajan tilavuus (m ³)	31,7	31,7	31,7	31,7	51,7	51,7
Suuntaajan paino (kg)	8 900	8 900	8 900	8 900	9 900	9 900
Suuntaajan hintaindeksi	1150,0	1150,0	1150,0	1150,0	1230,0	1230,0
Generaattoriteho (kVA)	35 614	43 985	50 752	59 359	81 203	98 632
Yhden generaattorin teho (kVA)	8 904	10 996	12 688	14 840	20 301	24 733
Yhden generaattorin virta (A)	779	962	1 110	1 298	1 779	2 164
cos φi	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Xd''	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Moottoriteho (kW)	9 000	11 115	12 825	15 000	20 520	25 000
Moottorivirta (A)	577	713	823	962	1 316	1 604
Moottorien lukumäärä	2	2	2	2	2	2
Päätaulu	Väljännitepäätaulu	Väljännitepäätaulu	Väljännitepäätaulu	Väljännitepäätaulu	Väljännitepäätaulu	Väljännitepäätaulu
Päätaulun jännite (V)	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600
P-moottorin ottama virta (A)	1 155	1 426	1 645	1 925	2 633	3 208
Kiskoston maksimivirta (A)	2 337	2 886	3 330	3 894	5 328	6 491
Oikosulkuvirta (A)	20 770	25 651	29 598	34 617	47 356	57 666
Oikosulkuvirran tarkistus	OK	OK	OK	OK	Ei käy	Ei käy
Päätaulukentät:	Generaattoritilat	4	Redundanasi	2	Hotelli/rajoitama	2
	Suuntaajalahdot	2	Magnetointi	0	Suodatus (M/G)	2
	Päätaulun jako	1	Mittauskentät	2	(arvioidu kilekokatsoijakentän hinnaksi)	
Kenttien lukumäärä:	15	15	15	15	15	15
Päätaulun tilavuus (m ³)	42,1	42,1	42,1	42,1	52,7	52,7
Päätaulun paino (kg)	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900	12 900
Päätaulun hintaindeksi	537,0	576,0	576,0	576,0	576,0	576,0
Kommutointikuristin						
Huomi! Vakiokuristin						
Kuristimen tilavuus (m ³)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Kuristimen paino (kg)	9 000	9 000	9 000	9 000	9 000	9 000
Kuristimen hintaindeksi	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0
Nollakuristin						
Huomi! Vakiokuristin						
Kuristimen tilavuus (m ³)	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
Kuristimen paino (kg)	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000
Kuristimen hintaindeksi	140,0	140,0	140,0	140,0	140,0	140,0
Käytön tilavuus (m ³)	144	144	144	144	154	154
Käytön paino (kg)	60 700	60 700	60 700	60 700	62 700	62 700
Käytön hintaindeksi	3 357	3 396	3 396	3 396	3 556	3 556
Tilavuus/potkuriteho (m ³ /W)	8,0	6,5	5,6	4,8	3,8	3,1
Paino/potkuriteho (kg/kW)	3,4	2,7	2,4	2,0	1,6	1,3
Hintaindeksi/potkuriteho (/W)	186,5	152,8	132,4	113,2	88,0	71,1

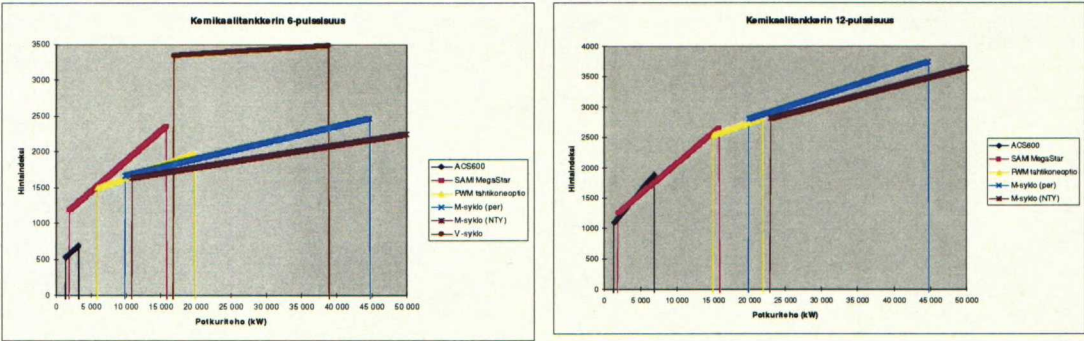
Liite 10 Käyttöjen kuvaajat



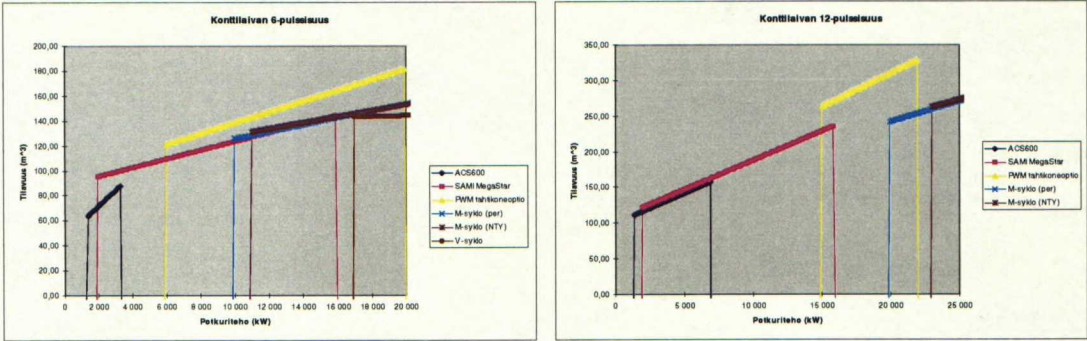
Kuva L10.1 Kemikaalitankkerin 6- ja 12-pulssisen käytön tilavuuskäyrät



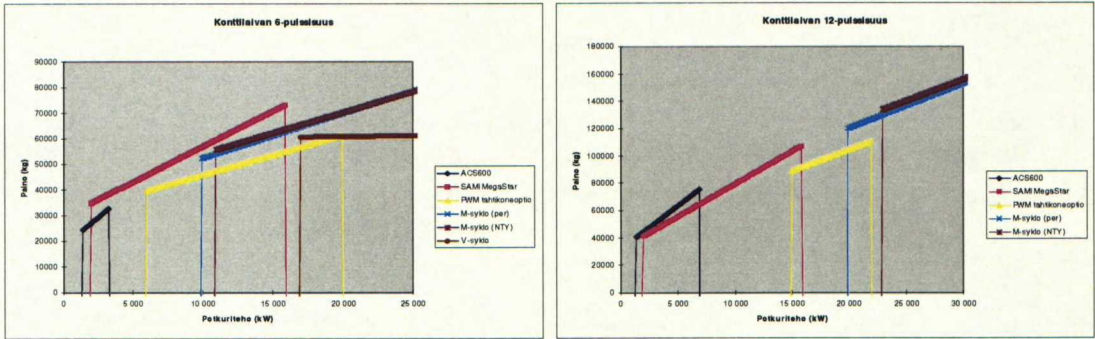
Kuva L10.2 Kemikaalitankkerin 6- ja 12-pulssisen käytön painokäyrät



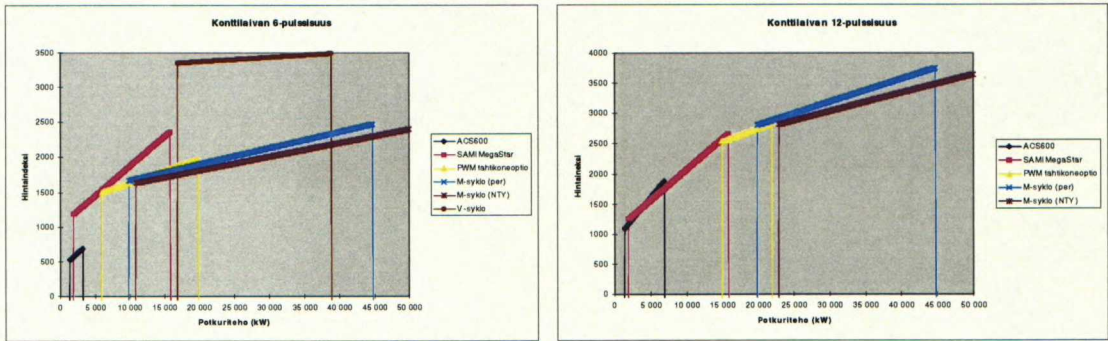
Kuva L10.3 Kemikaalitankkerin 6- ja 12-pulssisen käytön hintaindeksikäyrät



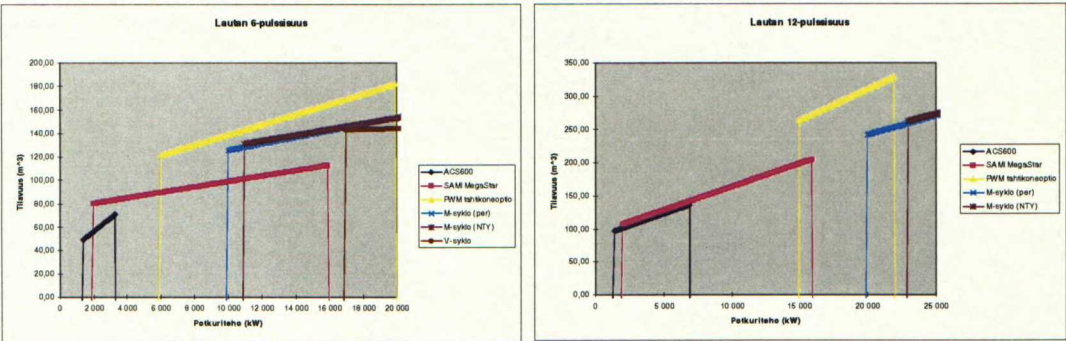
Kuva L10.4 Konttilaivan 6- ja 12-pulssisen käytön tilavuuskäyrät



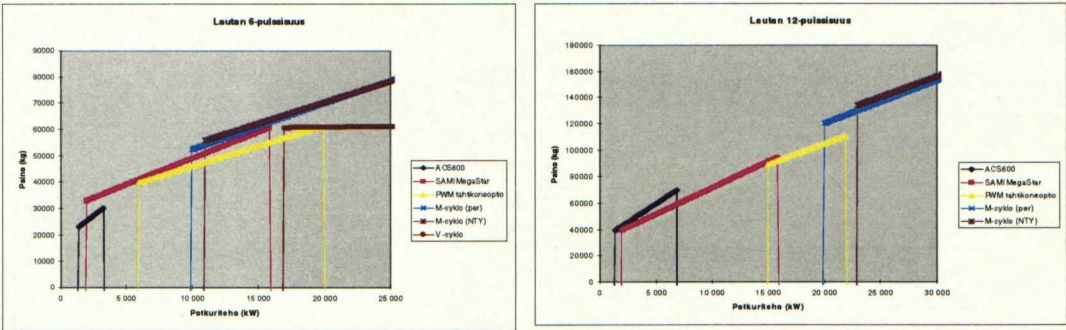
Kuva L10.5 Konttilaivan 6- ja 12-pulssisen käytön painokäyrät



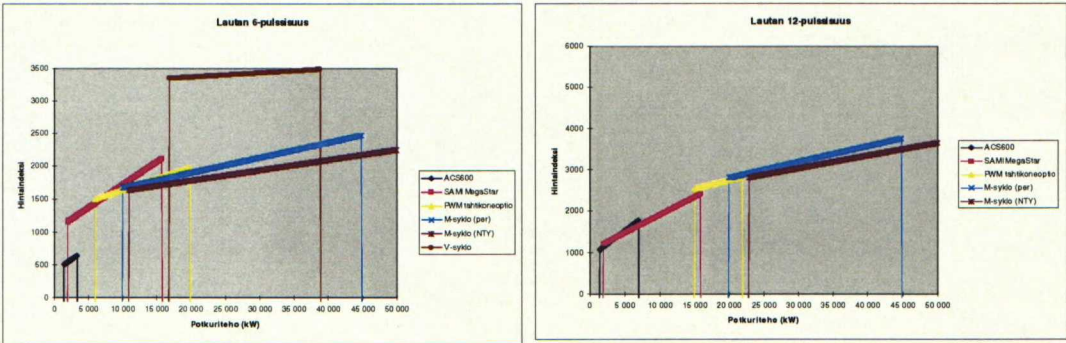
Kuva L10.6 Konttilaivan 6- ja 12-pulssisen käytön hintaindeksikäyrät



Kuva L10.7 Lautan 6- ja 12-pulssisen käytön tilavuuskäyrät



Kuva L10.8 Lautan 6- ja 12-pulssisen käytön painokäyrät



Kuva L10.9 Lautan 6- ja 12-pulssisen käytön hintaindeksikäyrät

Liite 11 Tehoalueet

Taulukko L11.1 6-pulssisten käyttöjen minimitehopisteet eri kriteereillä

TEHON ARVOT KÄYTTÖJEN LEIKKAUSPISTEISSÄ									
	KEMIKAALITANKKERI			KONTTILAIVA			LAUTTA		
	Tila- vuus	Paino	Hinta- indeksi	Tila- vuus	Paino	Hinta- indeksi	Tila- vuus	Paino	Hinta- indeksi
ACS 600	1400/ 3300	1400/ 3300	1400/ 3300	1400/ 3300	1400/ 3300	1400/ 3300	1400/ 3300	1400/ 3300	1400/ 3300
SAMI Mega Star	3300/ 13000	3300/ 6000	3300/ 6000	3300/ 13000	3300/ 6000	3300/ 6000	3300/ 16000	3300/ 6000	3300/ 8000
PWM- tahti- kone- optio	-	6000/ 19600	6000/ 11000	-	6000/ 19600	6000/ 11000	-	6000/ 19600	8000/ 11000
M- syklo (per)	13000/ 17000	-	-	13000/ 17000	-	-	16000/ 17000	-	-
M- syklo NTY	39000/ 53400	39000/ 53400	11000/ 53400	39000/ 53400	39000/ 53400	11000/ 53400	39000/ 53400	39000/ 53400	11000/ 53400
V- syklo	17000/ 39000	19600/ 39000	-	17000/ 39000	19600/ 39000	-	17000/ 39000	19600/ 39000	-

Taulukko L11.2 12-pulssisten käyttöjen minimitehopisteet eri kriteereillä

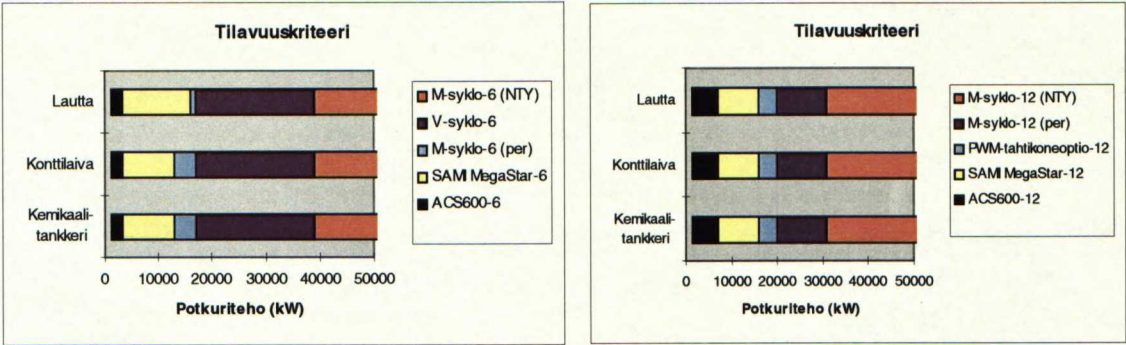
TEHON ARVOT KÄYTTÖJEN LEIKKAUSPISTEISSÄ									
	KEMIKAALITANKKERI			KONTTILAIVA			LAUTTA		
	Tila- vuus	Paino	Hinta- indeksi	Tila- vuus	Paino	Hinta- indeksi	Tila- vuus	Paino	Hinta- indeksi
ACS 600	1400/ 6900	1400/ 2000	1400/ 3700	1400/ 6900	1400/ 2000	1400/ 3700	1400/ 6900	1400/ 2000	1400/ 3800
SAMI Mega Star	6900/ 16000	2000/ 15000	3700/ 15000	6900/ 16000	2000/ 15000	3700/ 15000	6900/ 16000	2000/ 15000	3800/ 16000
PWM- tahti- kone- optio	16000/ 20000	15000/ 22000	15000/ 22000	16000/ 20000	15000/ 22000	15000/ 22000	16000/ 20000	15000/ 22000	16000/ 22000
M- syklo (per)	20000/ 31000	22000/ 44900	22000/ 23000	20000/ 31000	22000/ 44900	22000/ 23000	20000/ 31000	22000/ 44900	22000/ 23000
M- syklo NTY	31000/ 53400	44900/ 53400	23000/ 53400	31000/ 53400	44900/ 53400	23000/ 53400	31000/ 53400	44900/ 53400	23000/ 53400

Taulukko L11.3 *6-pulssisten käyttöjen minimitehopisteiden laskennalliset arvot eri kriteereillä. Tummennetulla on merkitty käyrien risteyskoh-
tien arvot*

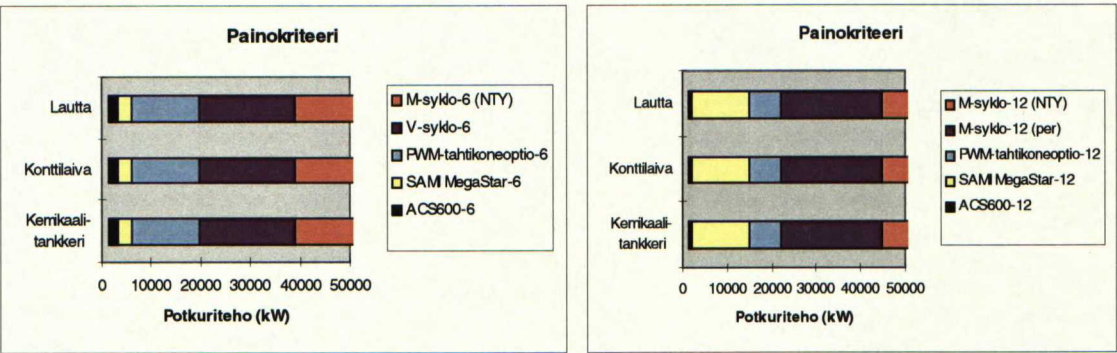
NUMEERISET ARVOT KÄYTTÖJEN LEIKKAUSPISTEISSÄ									
	KEMIKAALITANKKERI			KONTTILAIVA			LAUTTA		
	Tila- vuus (m ³)	Paino (kg)	Hinta- indeksi	Tila- vuus (m ³)	Paino (kg)	Hinta- indeksi	Tila- vuus (m ³)	Paino (kg)	Hinta- indeksi
ACS 600	64/ 88	24 400/ 32 900	530/ 690	64/ 88	24 400/ 32 900	530/ 690	49/ 71	23 200/ 30300	500/ 640
SAMI Mega Star	100/ 134	38 200/ 45 700	1300/ 1530	100/ 134	38 200/ 45 700	1300/ 1530	83/ 113	35 600/ 41 000	1250/ 1570
PWM- tahti- kone- optio	-	39 800/ 60 800	1500/ 1670	-	39 800/ 60 800	1500/ 1670	-	39 800/ 60 800	1570 / 1670
M- syklo (per)	134 / 143	-	-	134 / 143	-	-	142/ 143	-	-
M- syklo NTY	199/ 234	100 900/ 124 300	1640/ 2300	199/ 234	100 900/ 124 300	1640/ 2470	199/ 234	100 900/ 124 300	1640/ 2300
V- syklo	143 / 150	60 800 / 62 000	-	143 / 150	60 800 / 62 000	-	143 / 150	60 800 / 62 000	-

Taulukko L11.4 *12-pulssisten käyttöjen minimitehopisteiden laskennalliset arvot eri kriteereillä. Tummennetulla on merkitty käyrien risteyskoh-
tien arvot*

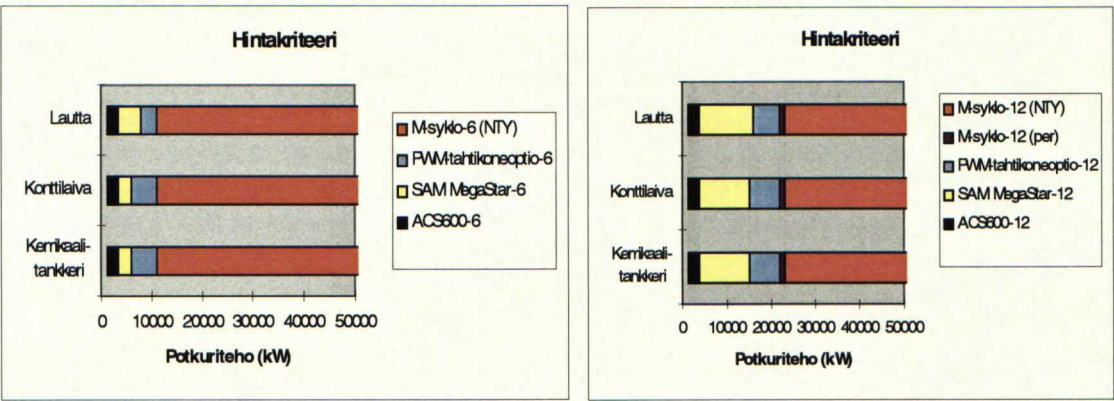
NUMEERISET ARVOT KÄYTTÖJEN LEIKKAUSPISTEISSÄ									
	KEMIKAALITANKKERI			KONTTILAIVA			LAUTTA		
	Tila- vuus (m ³)	Paino (kg)	Hinta- indeksi	Tila- vuus (m ³)	Paino (kg)	Hinta- indeksi	Tila- vuus (m ³)	Paino (kg)	Hinta- indeksi
ACS 600	112/ 157	40 700/ 44 400	1090/ 1430	112/ 157	40 700/ 44 400	1090/ 1430	97/ 137	39 500/ 42 800	1068/ 1370
SAMI Mega Star	163/ 237	41 100/ 102 900	1430 / 2570	163/ 237	41 100/ 102 900	1430 / 2570	142/ 205	39 600/ 91 100	1370 / 2420
PWM- tahti- kone- optio	273/ 311	89 100/ 110 500	2540/ 2830	273/ 311	89 100/ 110 500	2540/ 2830	273/ 311	89 100/ 110 500	2578/ 2830
M- syklo (per)	242/ 305	126 400/ 201 500	2880/ 2920	242/ 305	126 400/ 201 500	2880/ 2920	242/ 305	126 400/ 201 500	2880/ 2920
M- syklo NTY	305 / 423	202 800/ 229 800	2820/ 3750	305 / 423	202 800/ 229 800	2820/ 3750	305 / 423	202 840/ 229 800	2820/ 3750



Kuva L11.1 Minimikäyttö potkuritehon funktiona 6- ja 12-pulssisena, kun verrataan käytön tilavuuksia.



Kuva L11.2 Minimikäyttö potkuritehon funktiona 6- ja 12-pulssisena, kun verrataan käytön painoa.



Kuva L11.3 Minimikäyttö potkuritehon funktiona 6- ja 12-pulssisena, kun verrataan käytön hintaa.